N° d'ordre
C 26-3

Brest 1975
N° D'ENREGISTREMENT AU C.N.R.S.
A. O. 11425

ILLUSTRATION DU MEMOIRE DE THESE

présenté

à l'Université de Bretagne Occidentale

pour obtenir

le grade de Docteur ès-Sciences Naturelles

par

Alain BELAUD

Contribution à l'étude de quelques réactions physiologiques de l'Anguille *(Anguilla anguilla L.)* soumise à diverses conditions hyperbares.

Soutenue le 6 Juin 1975 devant la commission d'examen :

Professeur A. SERFATY (Université Paul Sabatier, Toulouse)	*Président*
Professeur C. PEYRAUD (Université de Bretagne Occidentale)	*Examinateurs*
Professeur Agrégé L. BARTHELEMY (Université de Bretagne Occidentale)	
Professeur P. DEJOURS (C. N. R. S., Strasbourg)	
Professeur J. CHOUTEAU (Université de Provence, Marseille)	

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41545814_0021

N° d'ordre
C 26-3

N° D'ENREGISTREMENT AU C.N.R.S.
A. O. 11425

ILLUSTRATION DU MEMOIRE DE THESE

présenté

à l'Université de Bretagne Occidentale

pour obtenir

le grade de Docteur ès-Sciences Naturelles

par

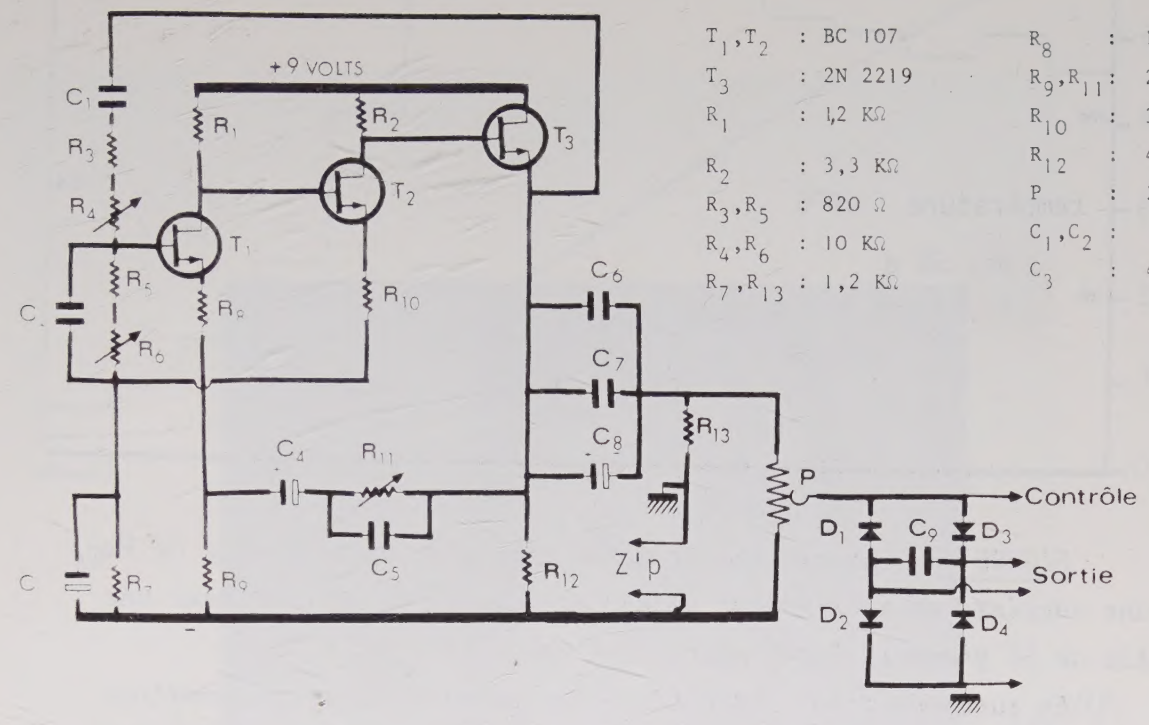
Alain BELAUD

Contribution à l'étude de quelques réactions physiologiques de l'Anguille *(Anguilla anguilla* L.*)* soumise à diverses conditions hyperbares.

Soutenue le 6 Juin 1975 devant la commission d'examen :

Professeur A. SERFATY (Université Paul Sabatier, Toulouse)	*Président*
Professeur C. PEYRAUD (Université de Bretagne Occidentale)	*Examinateurs*
Professeur Agrégé L. BARTHELEMY (Université de Bretagne Occidentale)	
Professeur P. DEJOURS (C. N. R. S., Strasbourg)	
Professeur J. CHOUTEAU (Université de Provence, Marseille)	

UNIV.
LEIDEN
BIBL.



T_1, T_2	: BC 107	R_8	: 1 KΩ
T_3	: 2N 2219	R_9, R_{11}	: 220 Ω
R_1	: 1,2 KΩ	R_{10}	: 330 Ω
R_2	: 3,3 KΩ	R_{12}	: 470 Ω
R_3, R_5	: 820 Ω	P	: 22 KΩ
R_4, R_6	: 10 KΩ	C_1, C_2	: 10 nF
R_7, R_{13}	: 1,2 KΩ	C_3	: 470 µF

FIGURE 1 : Schéma de l'appareillage électronique destiné à l'étude de la ventilation du poisson. Ce montage fournit une tension de sortie proportionnelle à l'impédance Z'_p qui exixte entre deux électrodes operculaires.

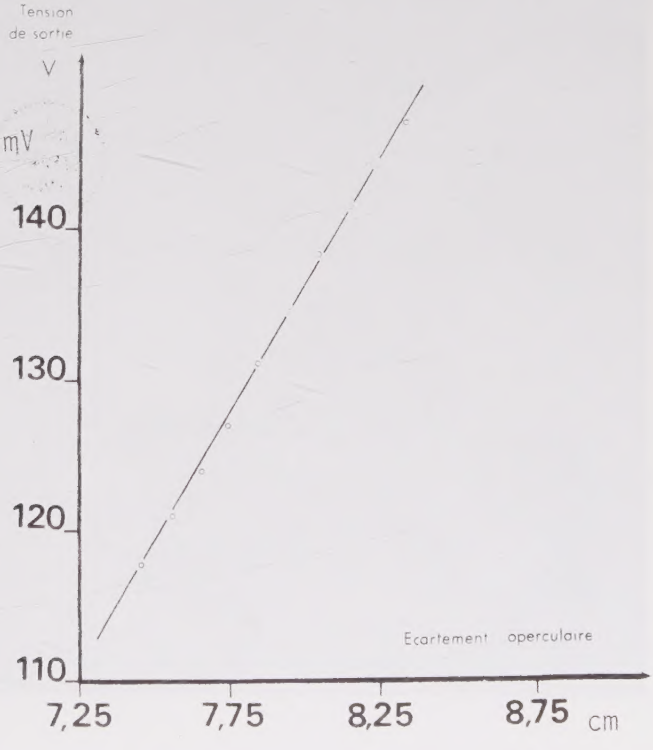


FIGURE 2 : Exemple de courbe d'étalonnage de l'appareillage de la figure 1, établie sur une carpe anesthésiée de poids : 2 kg.

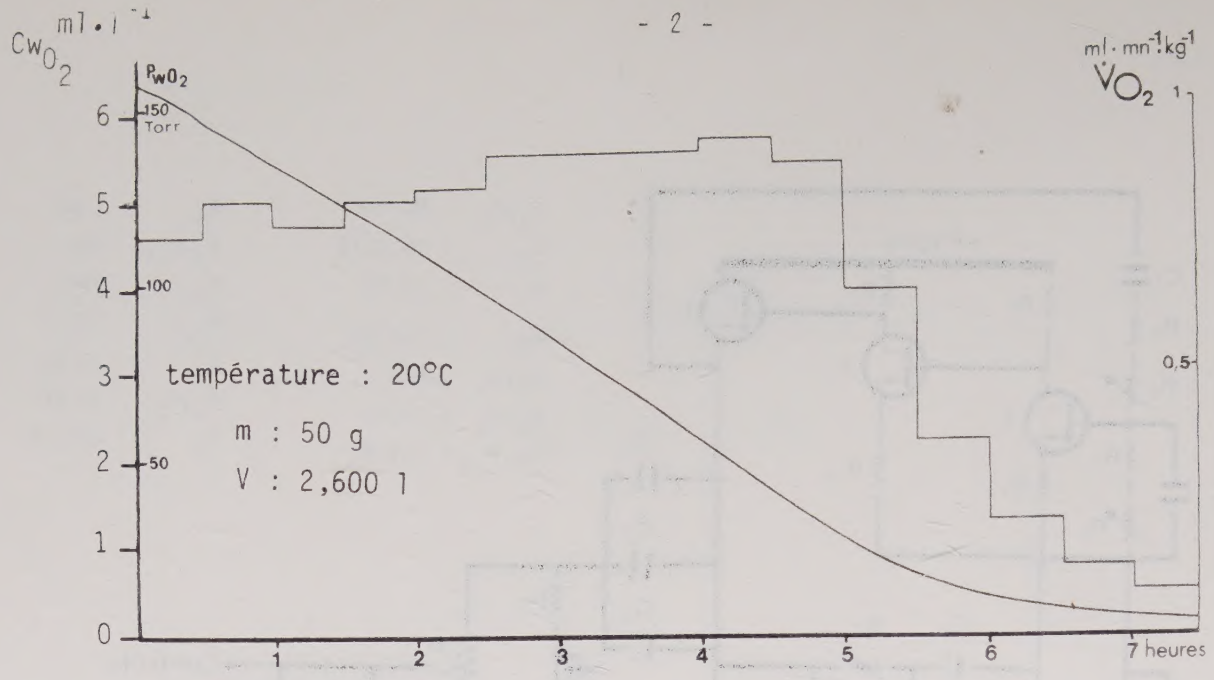


FIGURE 3 : Enregistrement de la courbe de décroissance de Pw_{O_2} dans une enceinte de confinement de volume 2,6 litres et contenant une anguille de 50 grammes. Température de l'eau : 20°C.

En superposition sont portées les valeurs de la consommation d'oxygène ($\dot{V}_{O_2}$) calculées toutes les 30 mn et exprimées en $ml \cdot mn^{-1} \cdot kg^{-1}$.

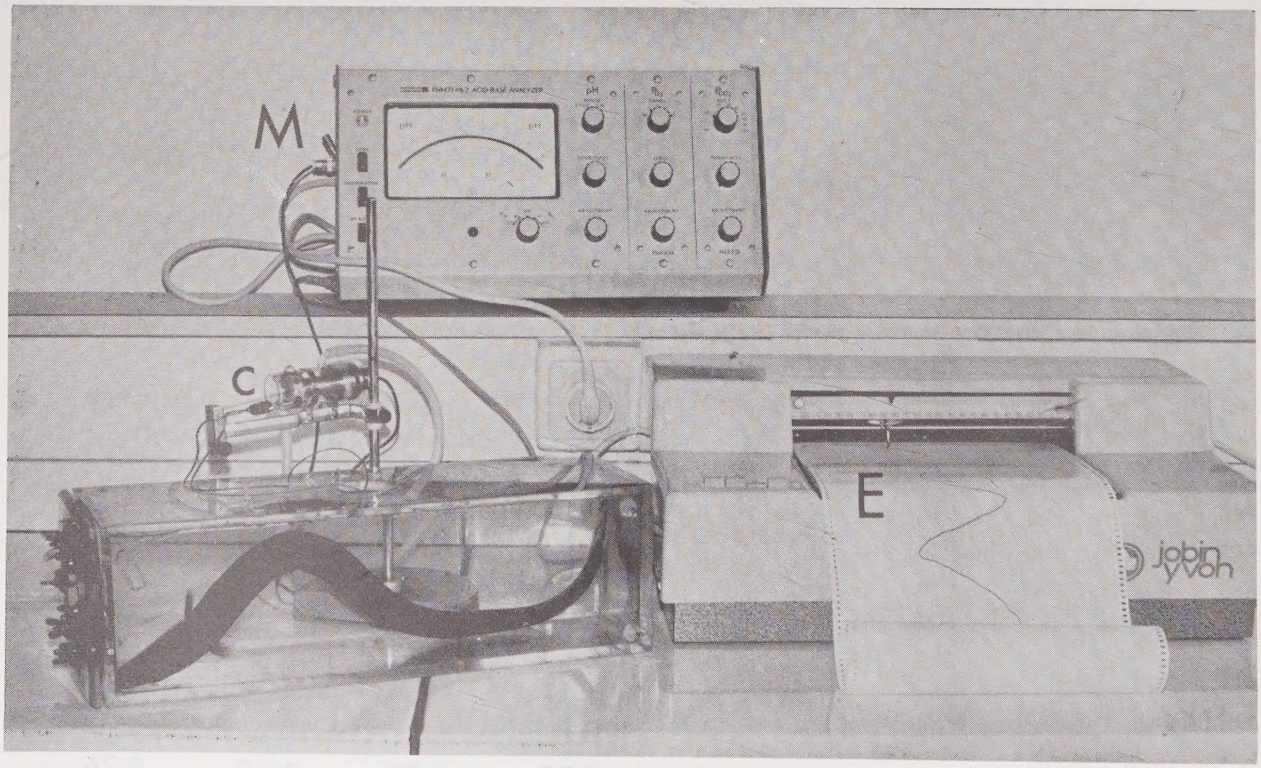


FIGURE 4 : Photographie d'une expérience d'enregistrement en continu de Pa_{O_2} d'Anguille par une technique de circulation extracorporelle. C. : cellule porte-électrode ; M. : appareil de mesure ; E. : enregistreur.

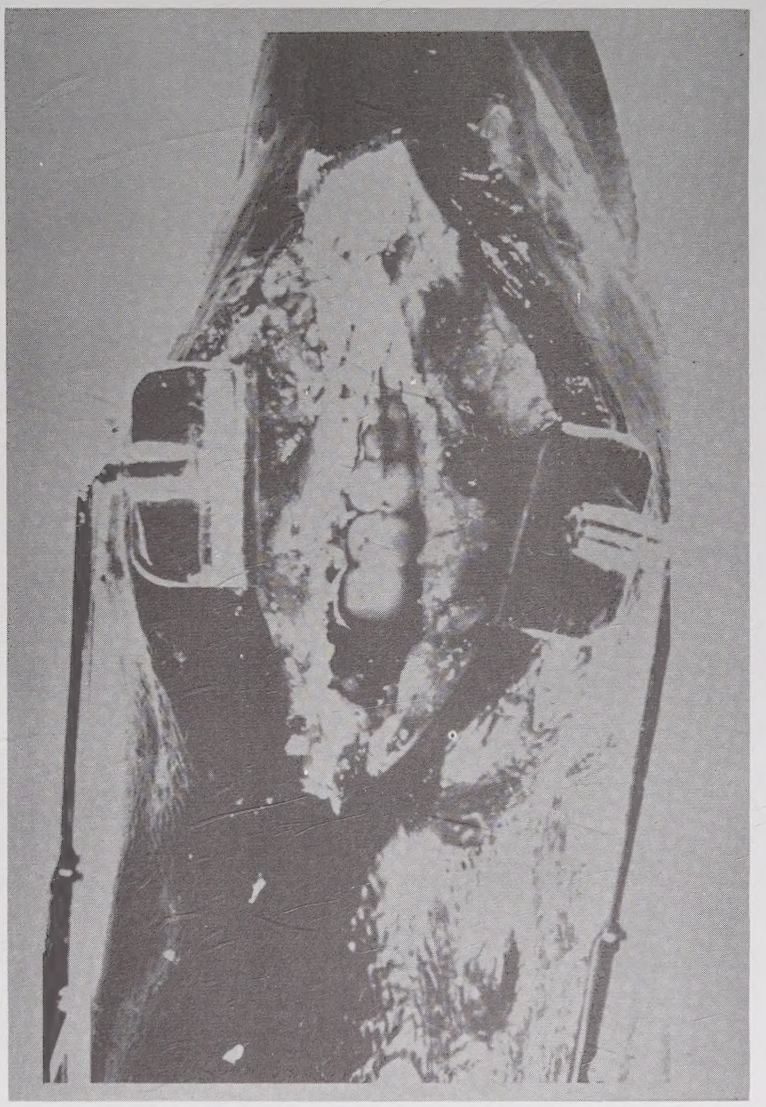


FIGURE 5 : Photographie de l'encéphale d'Anguille.
L.O. : lobes olfactifs ; T. : télencéphale ; T.O. : toit optique ;
C. : cervelet.

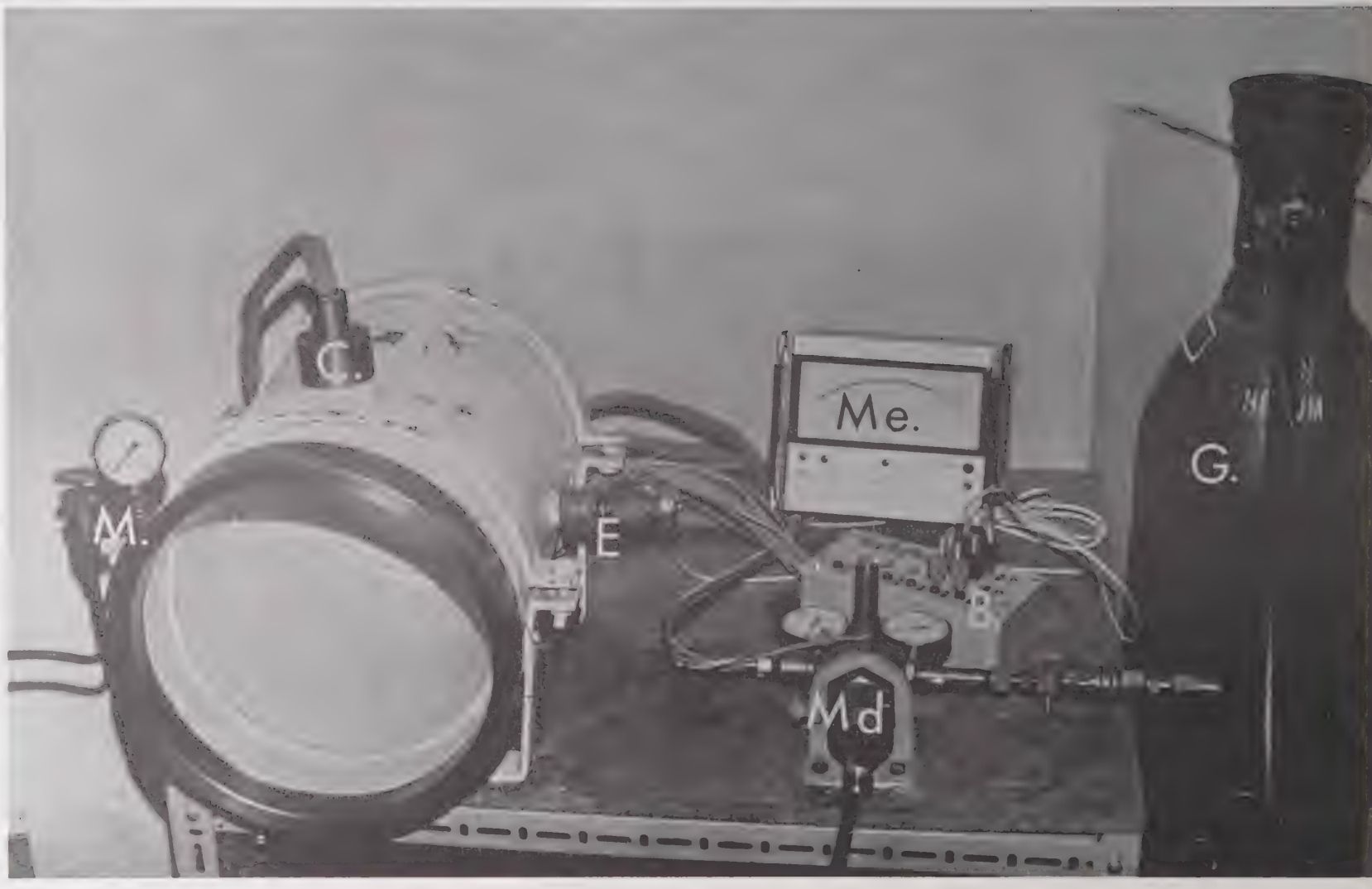


FIGURE 5 : Photographie du caisson hyperbare de 30 litres et de son système d'alimentation en gaz. Md. : manomètre détendeur ; E. : entrée des gaz ; M. : manomètre mécanique ; B. : boîte pour connexions ; G. : réserve de gaz comprimé.

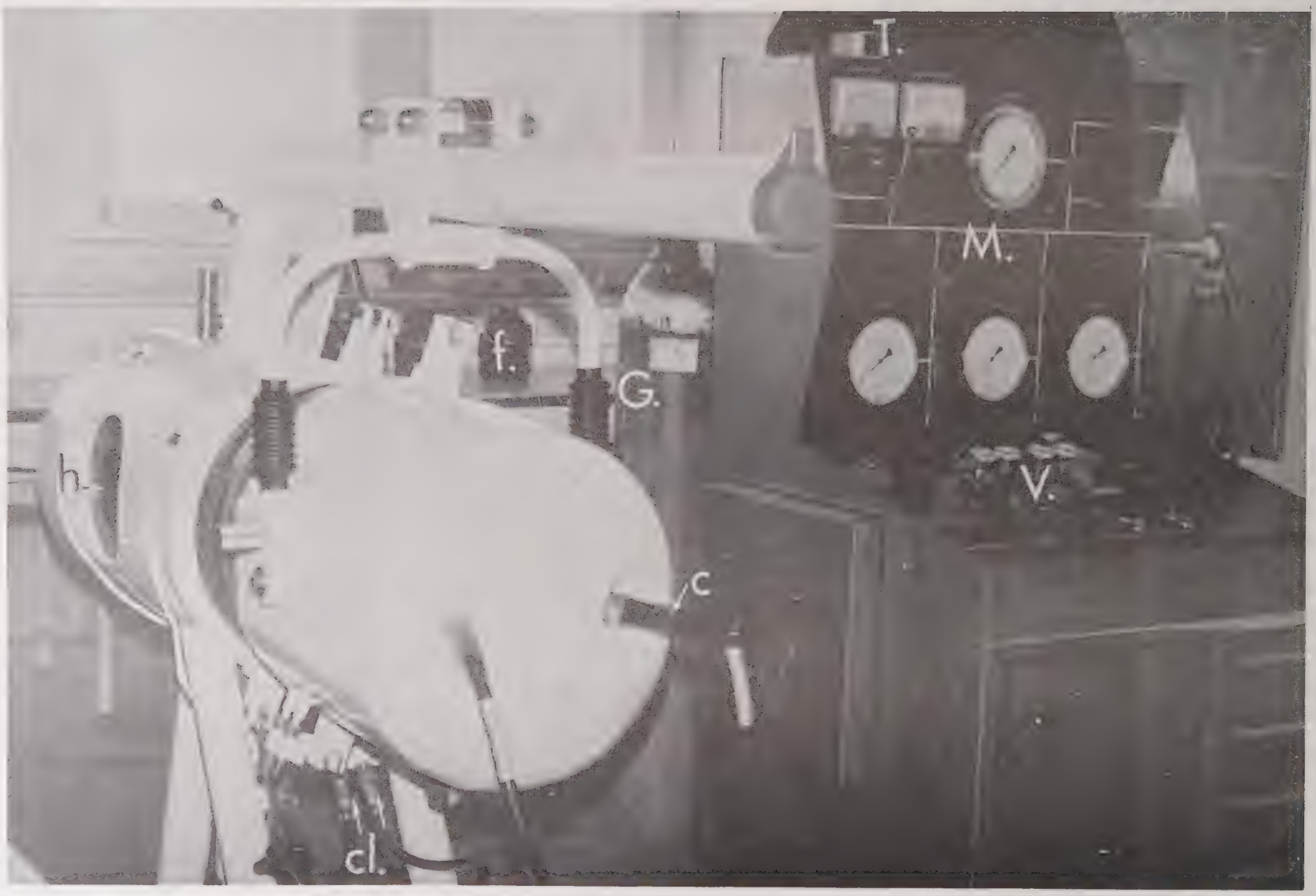


FIGURE 7 : Vue générale du caisson hyperbare de 130 litres et de son pupitre de commande.
V. : vannes de commande ; M. : manomètre ; G. : réserve de gaz comprimé ; C. : connecteur étanche ; h. : hublot ; Cl. : climatisation ; f. : pièces de fermeture du caisson.

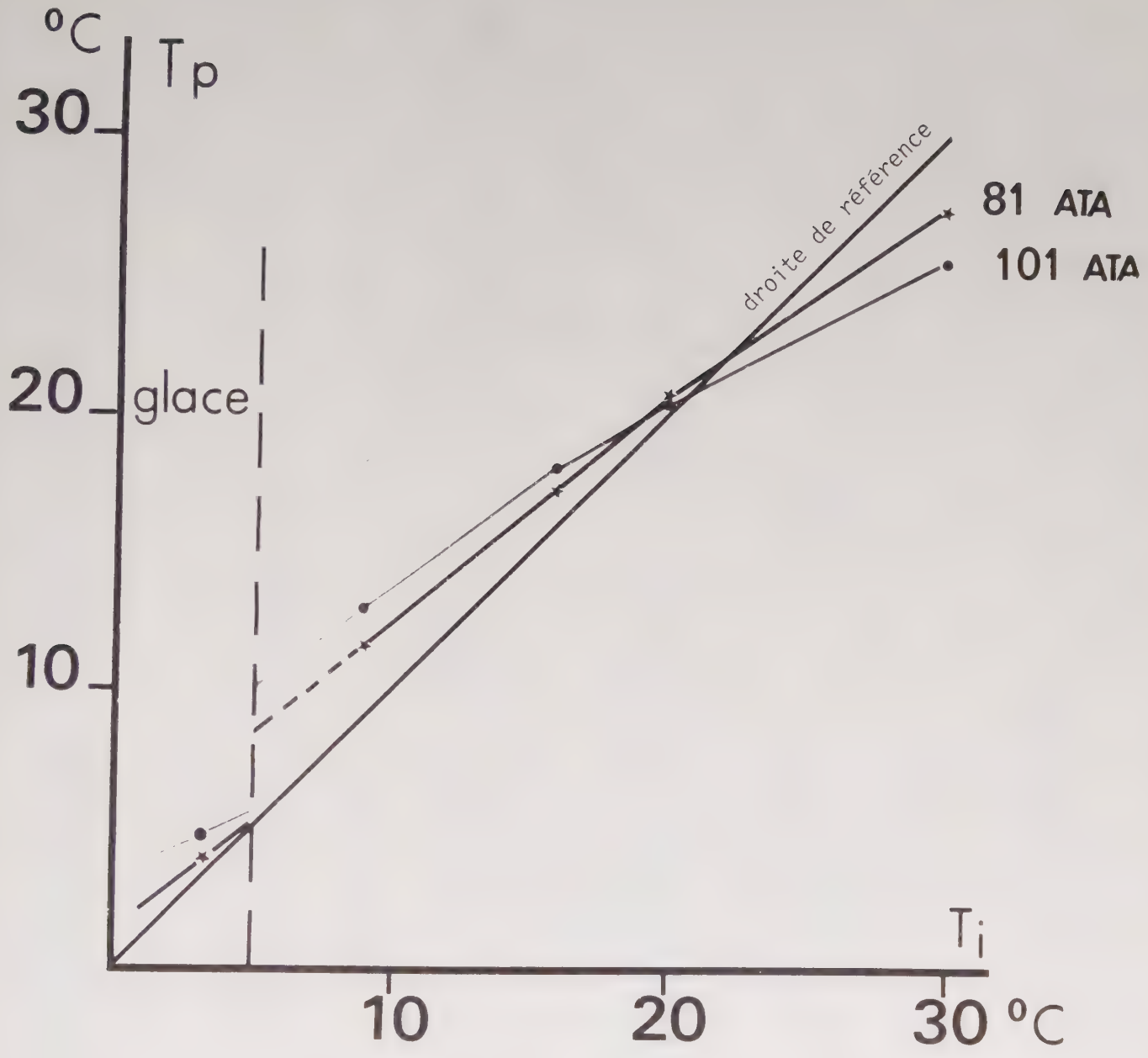


FIGURE 8 Résultats des repérages de température effectués dans l'aquarium expérimental placé dans le caisson hyperbare de 130 litres et comprimé à 101 ATA (compression à la vitesse de 5 atm·mn^{-1} avec des paliers de 3 mn toutes les 10 atm). Le graphique indique les températures relevées en pression (T_p) en fonction de la température de l'eau avant la compression (T_i). Les deux courbes correspondent aux écarts maxima de température relevés à 81 et à 101 ATA. Ces résultats seront indispensables pour interpréter les effets de la pression sur le poisson expérimenté.

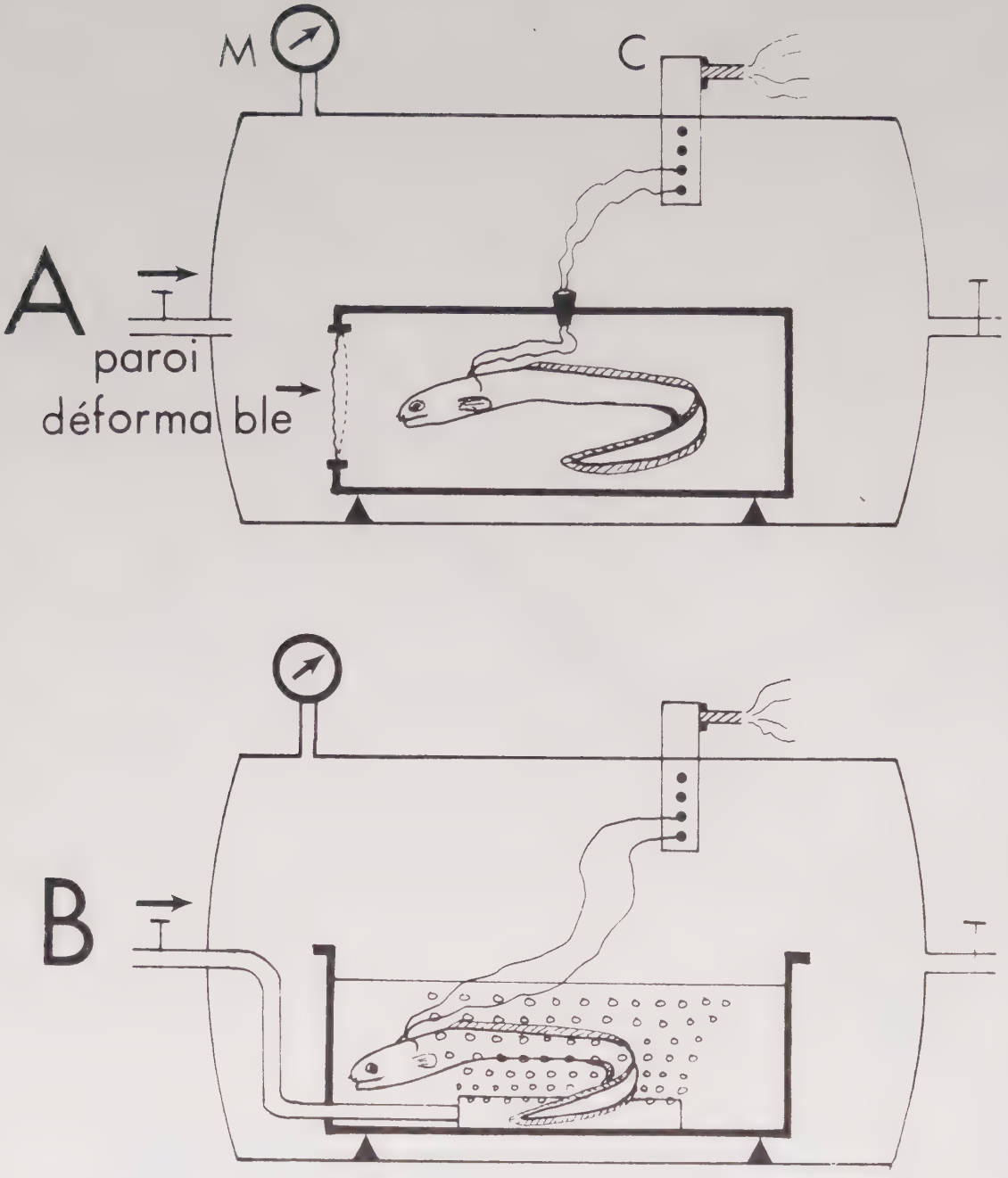


FIGURE 9 : *Illustration schématique des deux types de techniques hyperbares utilisées.*

En A : compression destinée à rechercher les effets de la pression hydrostatique "per se" sur le poisson.

En B : montage hyperbare permettant de soumettre le poisson aux effets à la fois de la pression "per se" et de l'augmentation de la masse de gaz dissous dans l'eau.

M. : manomètre ; C. : connecteur étanche.

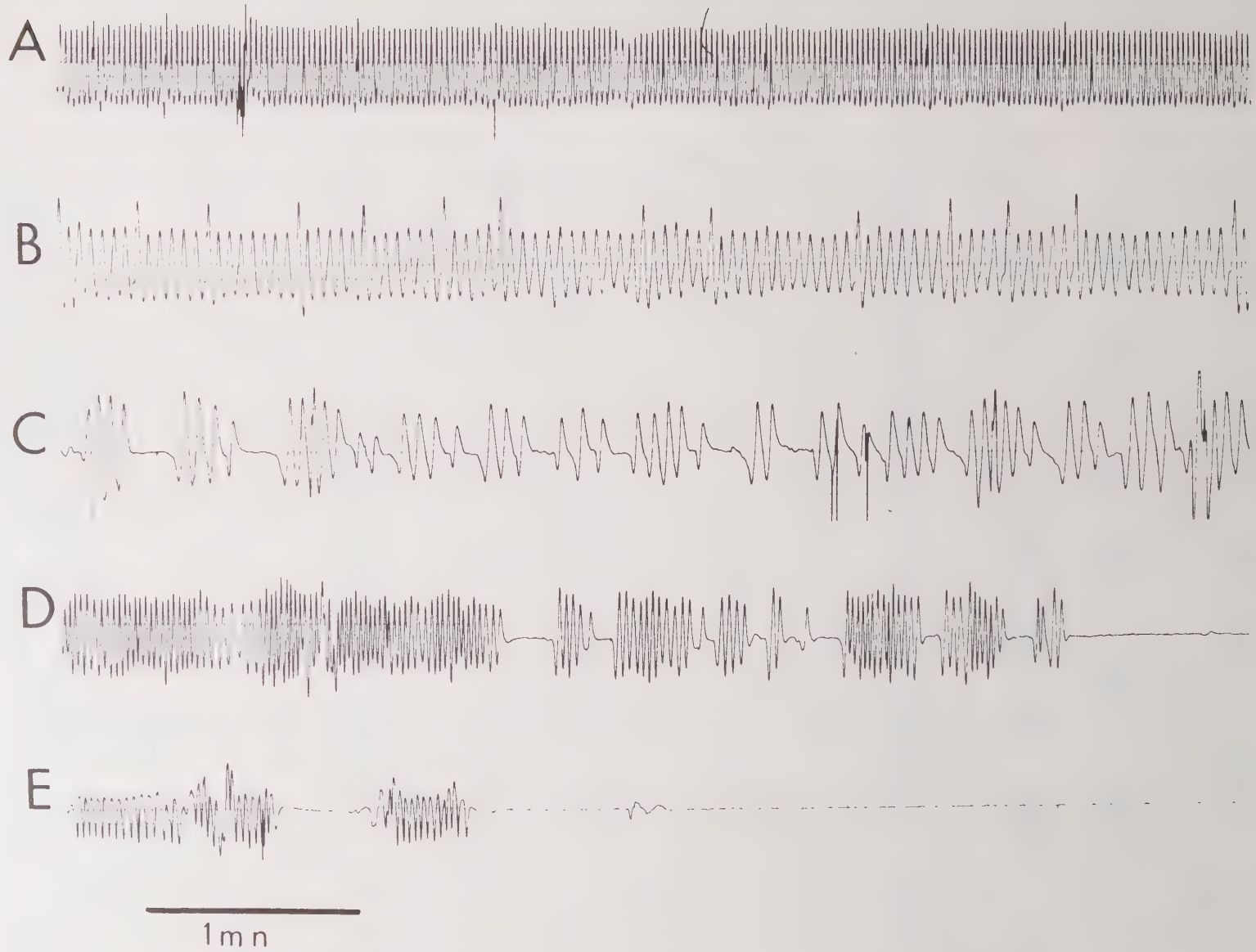


FIGURE 10 : Quelques exemples de tracés operculagraphiques obtenus à partir de différentes anguilles maintenues en conditions de référence (17°C ; $Pw_{O_2} \simeq 155$ torr ; Pw_{CO_2} 0,2 torr).
(A remarquer la variabilité des tracés et l'existence de phases d'apnée spontanée).

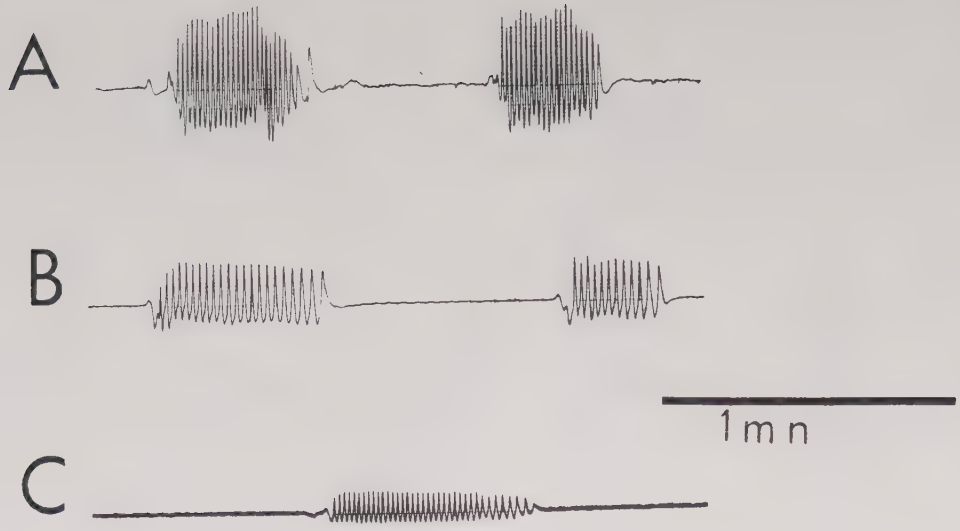


FIGURE 11 Tracés operculographiques d'anguilles maintenues en conditions de référence.
En A : la phase ventilatoire est composée de mouvements operculaires d'amplitude décroissante et de fréquence inchangée ;
En B : il s'observe uniquement une diminution de fréquence au cours de la phase ventilatoire ;
En C : il y a une diminution progressive à la fois de l'amplitude et de la fréquence ventilatoires.

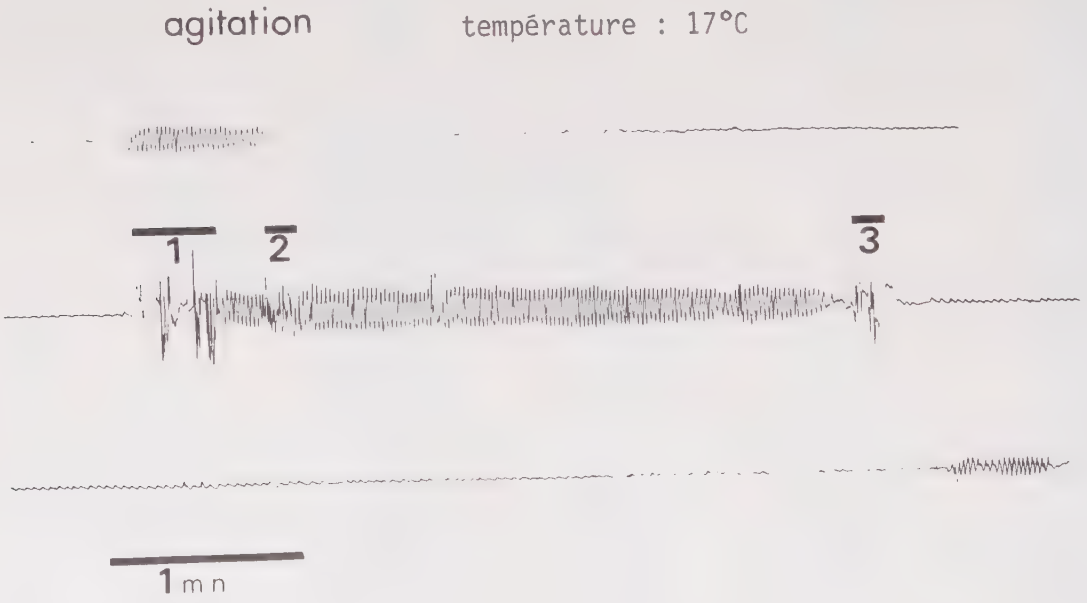


FIGURE 12 Enregistrements operculographiques d'une anguille placée en conditions de référence (17°C ; $Pw_{O_2} \simeq 155$ torr ; $Pw_{CO_2} \simeq 0,2$ torr).
En 1 : effets de l'agitation du poisson provoquée par l'expérimentateur ;
En 2 et 3 : l'anguille a présenté un état d'agitation spontanée.
A remarquer aussi, pendant les apnées, les oscillations lentes de la ligne de base dont la fréquence est voisine de la fréquence ventilatoire (commentaires dans le texte).

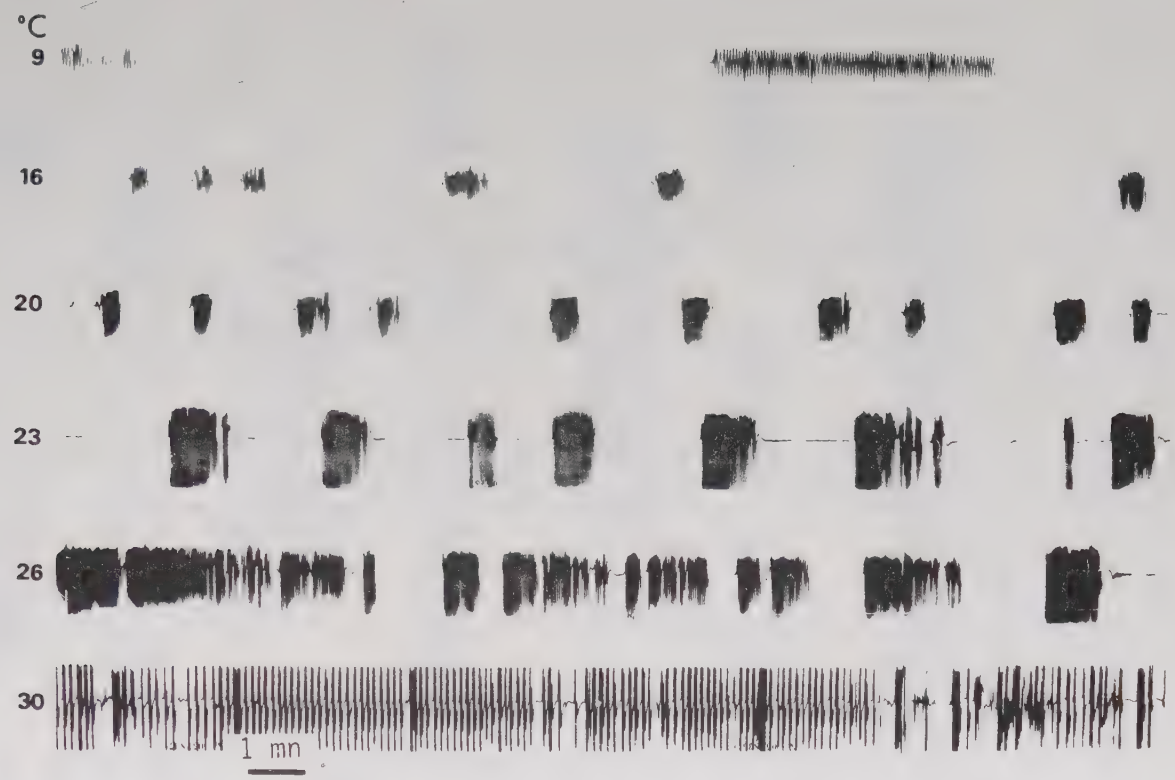


FIGURE 13 *Enregistrements operculographiques réalisés sur la même anguille maintenue à diverses températures. (Les anguilles étaient placées depuis 24 heures à la température correspondante).*

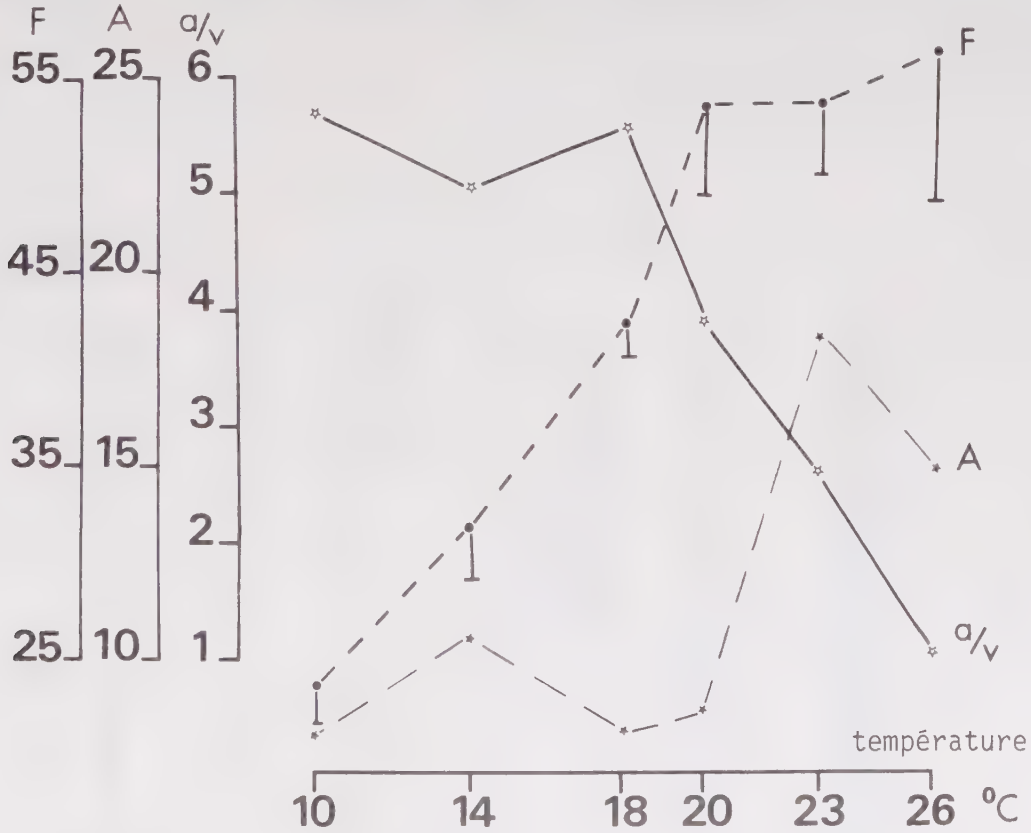


FIGURE 14 *Expression graphique de l'ensemble des résultats concernant l'évolution des données ventilatoires d'anguilles maintenues à diverses températures (F : fréquence ventilatoire en $c \cdot mn^{-1}$; A : amplitude ventilatoire en mm sur l'enregistrement ; a/v : durée relative des phases d'apnée par rapport à celle des phases ventilatoires. Graphique établi sur la base des résultats portés dans la table III.*

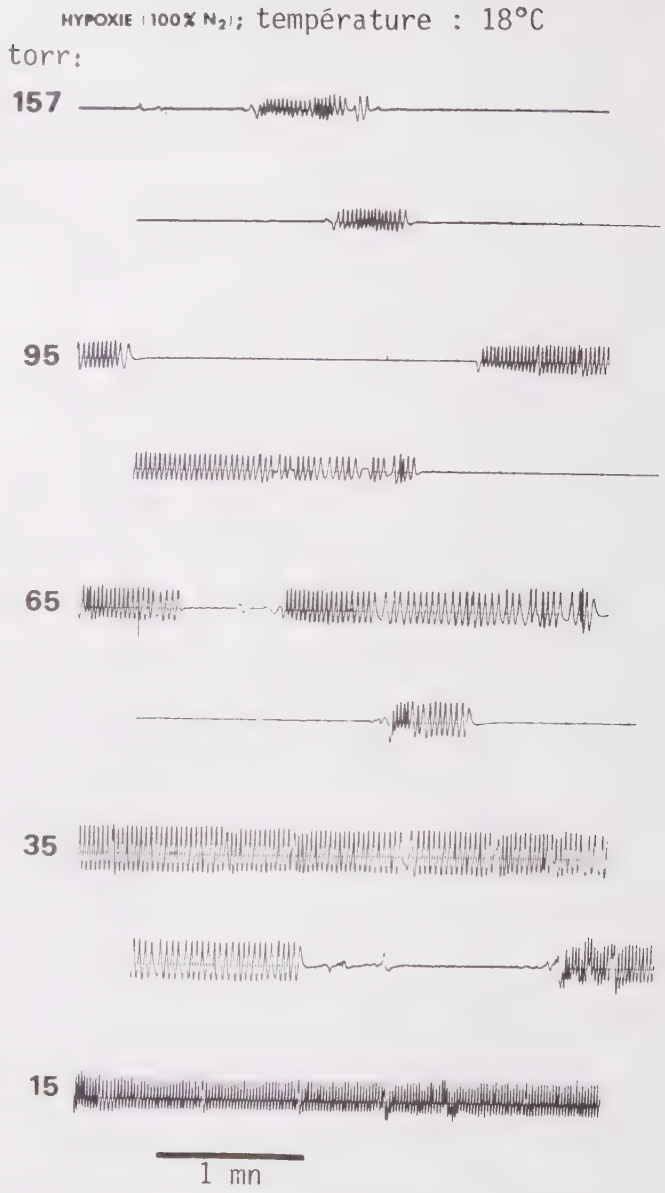


FIGURE 15 Exemple d'effet de l'hypoxie du milieu (obtenue par bullage d'azote à 100% dans l'aquarium) sur la ventilation d'une anguille maintenue à la température de 18°C. Effet hyperventilatoire.

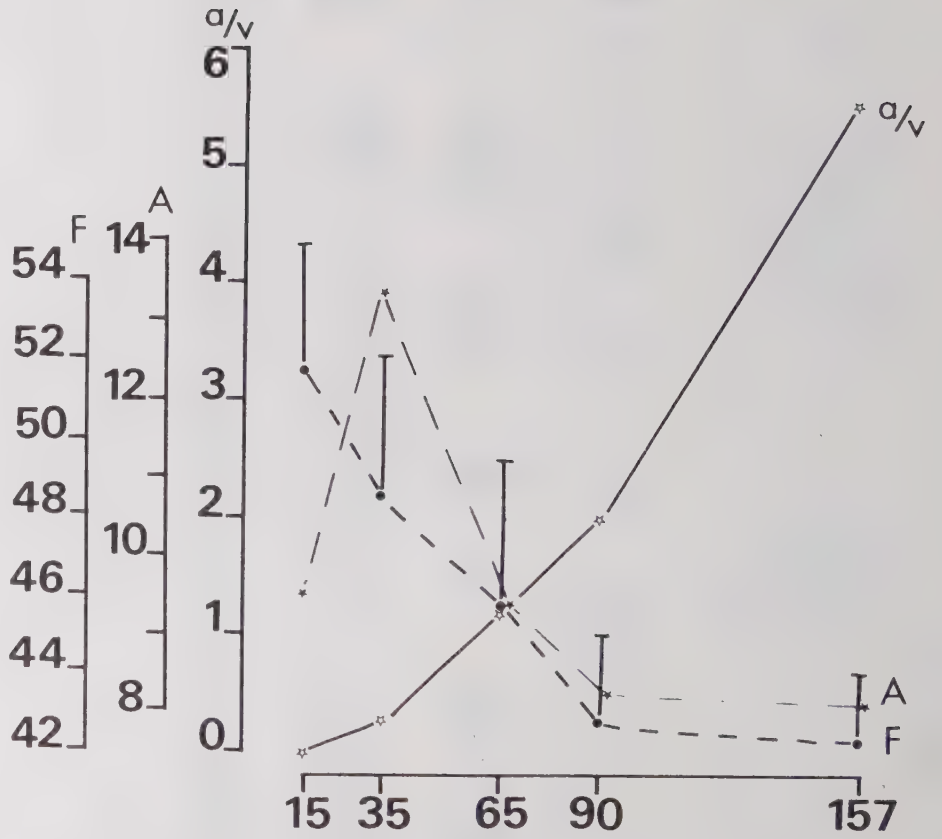


FIGURE 16 Présentation graphique des effets de l'hypoxie du milieu sur les caractéristiques ventilatoires de 4 anguilles maintenues à 18°C (illustration réalisée à partir des résultats qui apparaissent dans la table IV). F : fréquence ventilatoire en $c.mn^{-1}$; A : amplitude exprimée en mm sur l'enregistrement; a/v : rapport des durées des phases apneïques et ventilatoires.

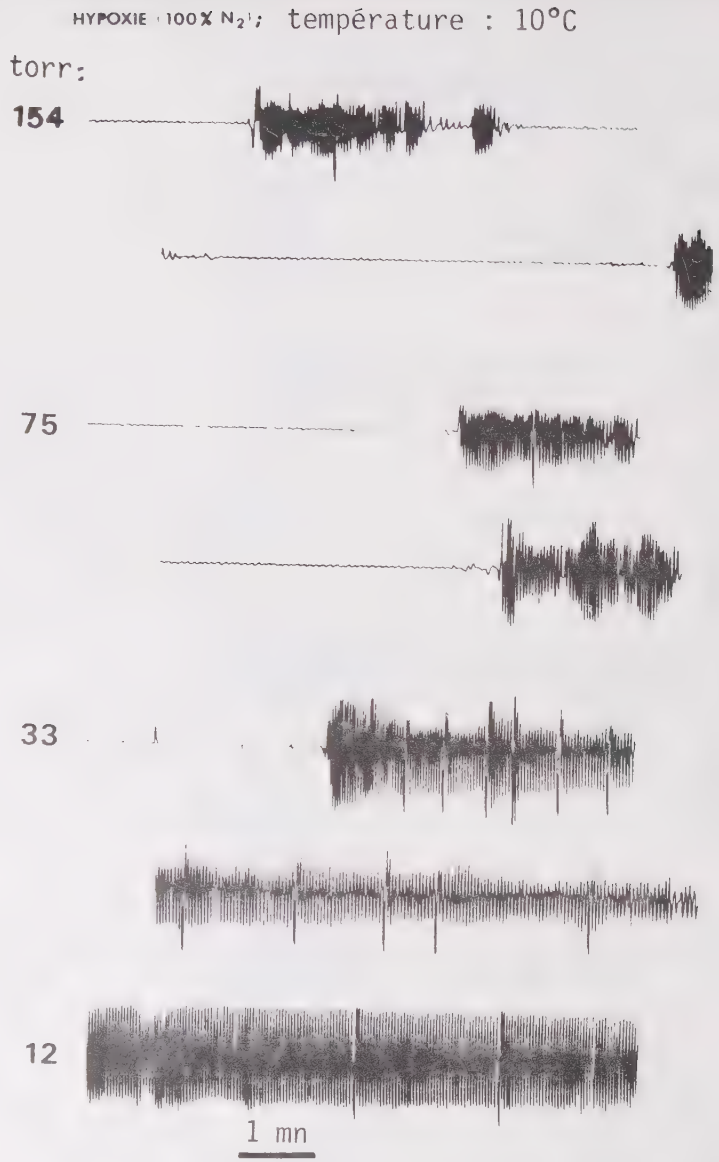


FIGURE 17 : *Exemple d'effet de l'hypoxie du milieu sur l'activité ventilatoire d'une anguille maintenue à 10°C.*

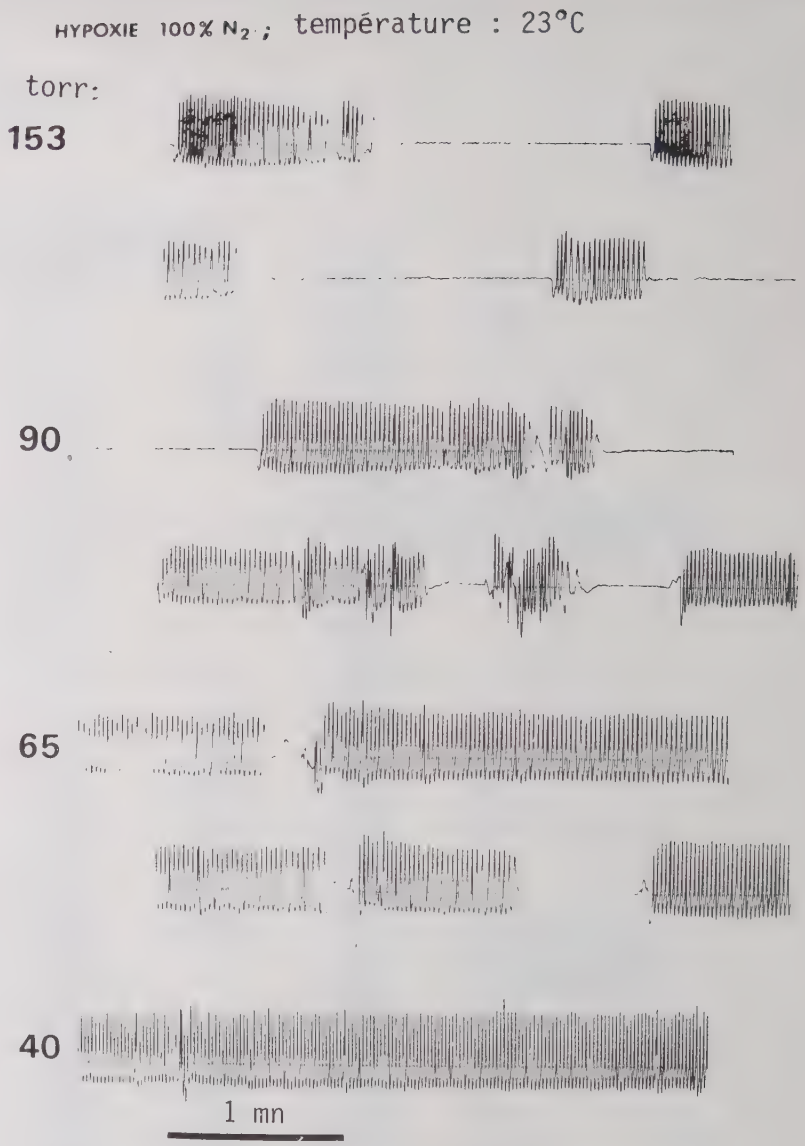


FIGURE 18 : *Tracés ventilatoires réalisés à divers niveaux d'hypoxie du milieu, enregistrés à partir d'une anguille maintenue à la température de 23°C. (Echelle des temps différente de celle de la figure précédente).*

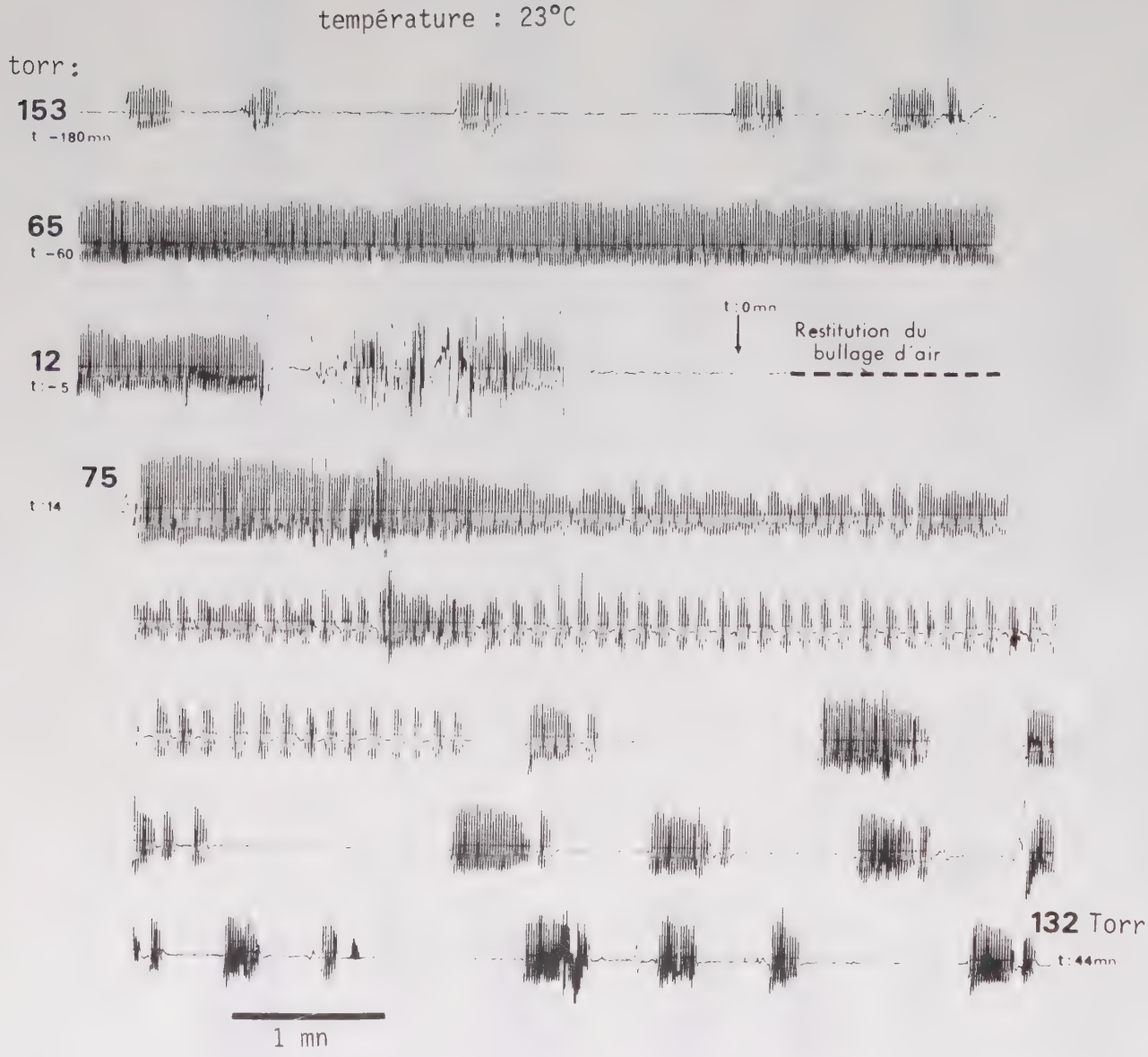


FIGURE 19 : Tracés ventilatoires d'une anguille au cours d'un séjour hypoxique à la température de 23°C.

A remarquer l'apnée prolongée imputable à l'hypoxie profonde et les caractéristiques de la reprise spontanée de l'activité ventilatoire après réadmission d'air dans les diffuseurs de l'aquarium.

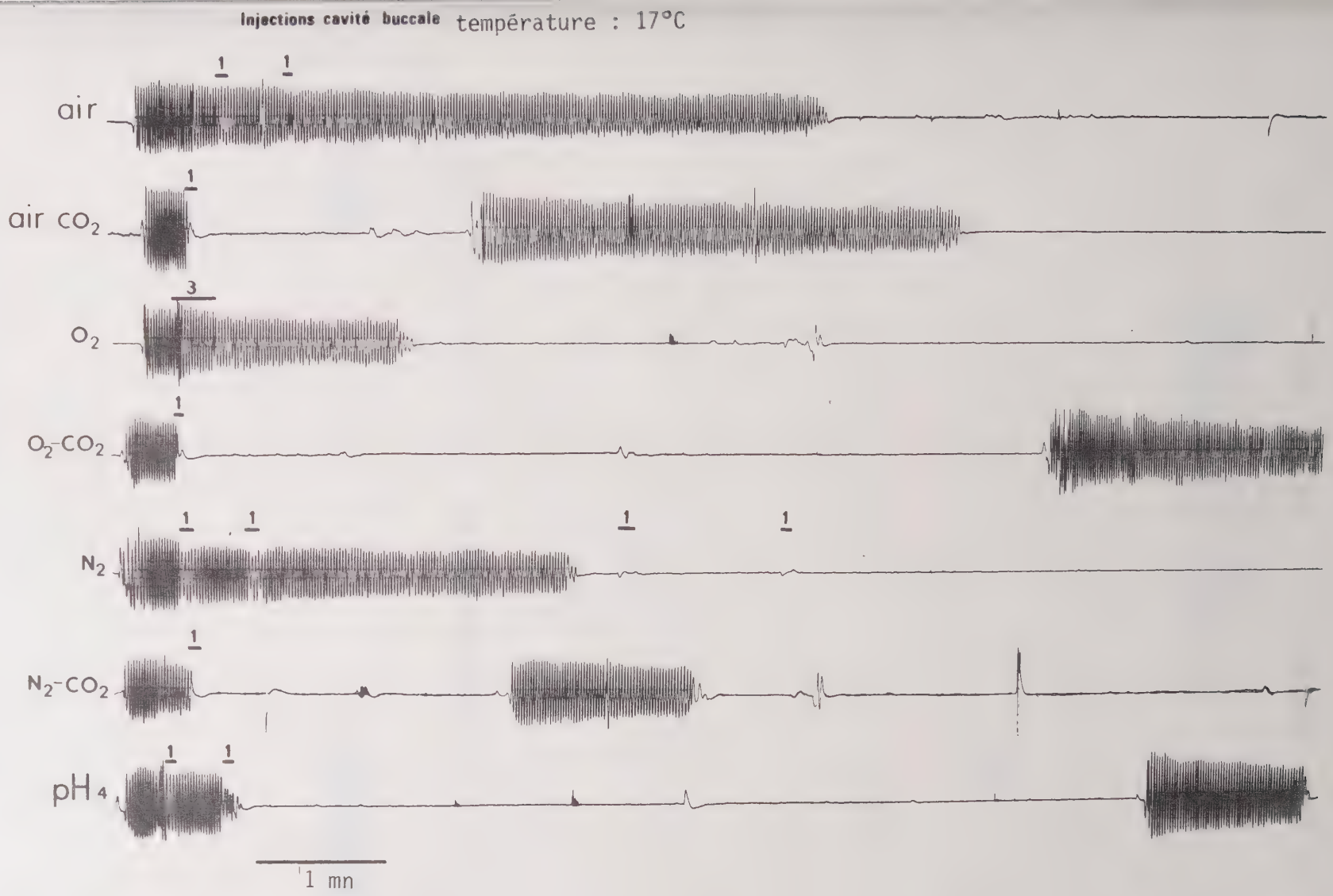


FIGURE 20 : *Effets des injections intrabuccales d'eau saturée par divers mélanges gazeux, sur la ventilation d'une anguille placée en conditions de référence (17°C ; $Pw_{O_2} \simeq 155$ torr ; $Pw_{CO_2} \simeq 0,2$ torr). La composition du mélange testé est indiquée en début de ligne. Les injections sont signalées par les traits horizontaux au-dessus de l'enregistrement. Ces traits horizontaux sont surmontés d'un chiffre indiquant le volume injecté (en ml).*

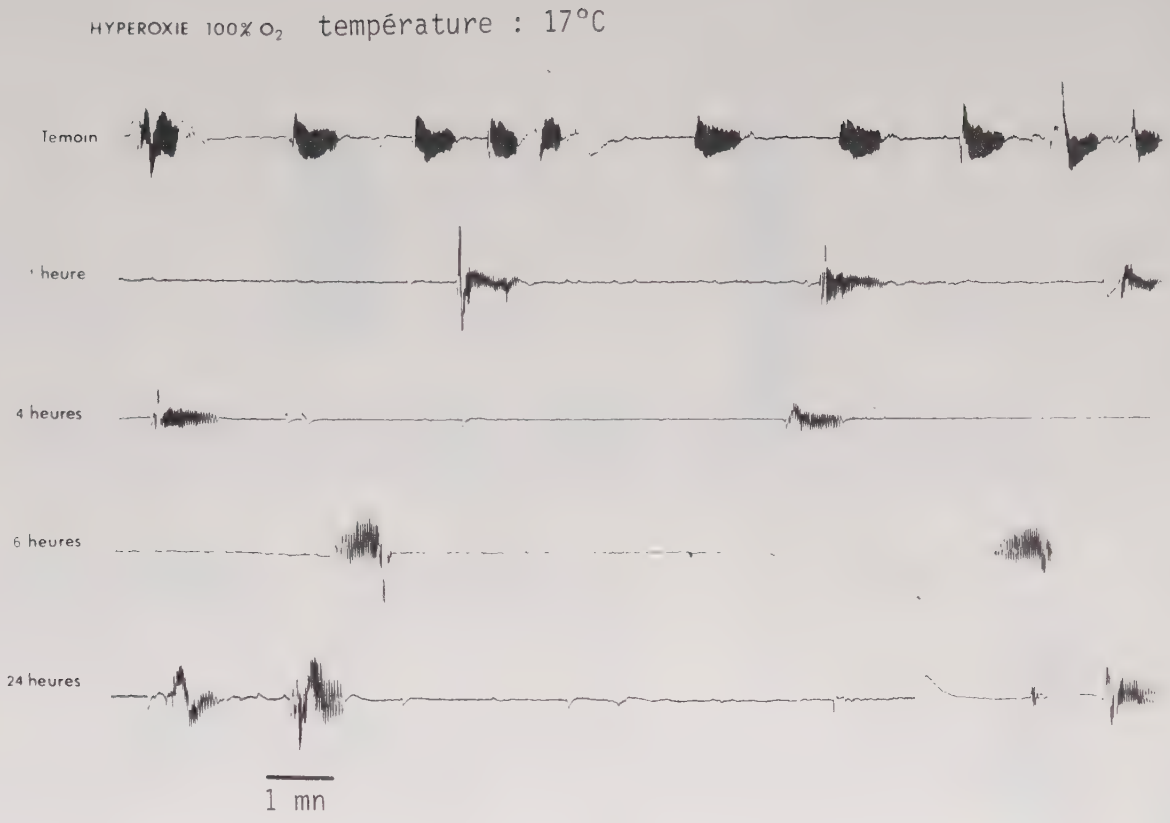


FIGURE 21 : Enregistrements ventilatoires d'une anguille maintenue à 17°C, effectués à différentes étapes d'un séjour hyperoxique normobare de 24 heures. hypoventilation très marquée.

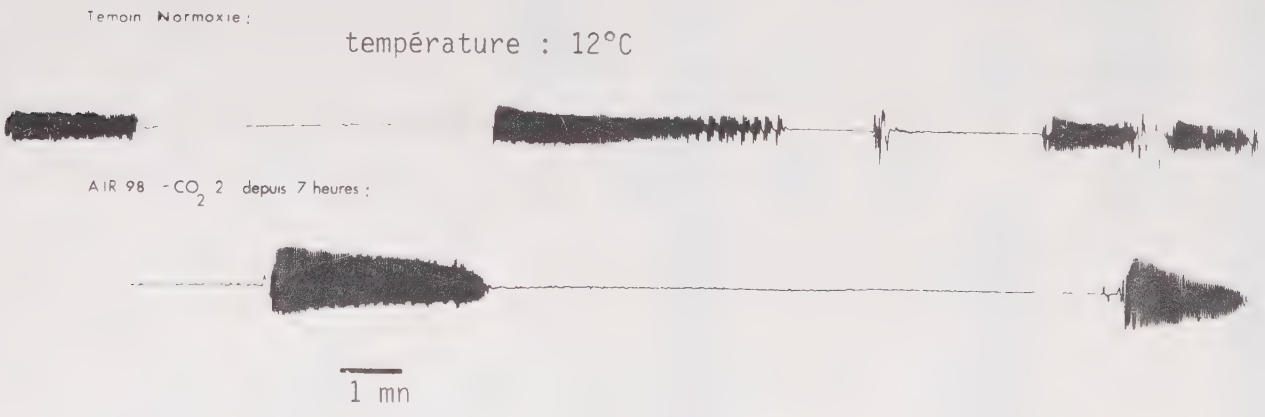


FIGURE 22 Enregistrements ventilatoires d'une anguille maintenue à 12°C maintenue au départ en conditions de référence (Témoin : normoxie, normocapnie). Effets de l'hypercapnie du milieu (tracé inférieur, $Pw_{CO_2} \simeq 14$ torr).

Bien que sans effet ventilatoire global notable, l'hypercapnie entraîne un allongement important des phases apnéiques.

FIGURE 23 : Enregistrements simultanés de la courbe de décroissance de Pw_{O_2} et de la ventilation d'une anguille placée en confinement et à 17°C.

A noter la faible pente de la décroissance de Pw_{O_2} au cours des phases d'apnée, ce qui traduit la faible efficacité de l'absorption cutanée d'oxygène.

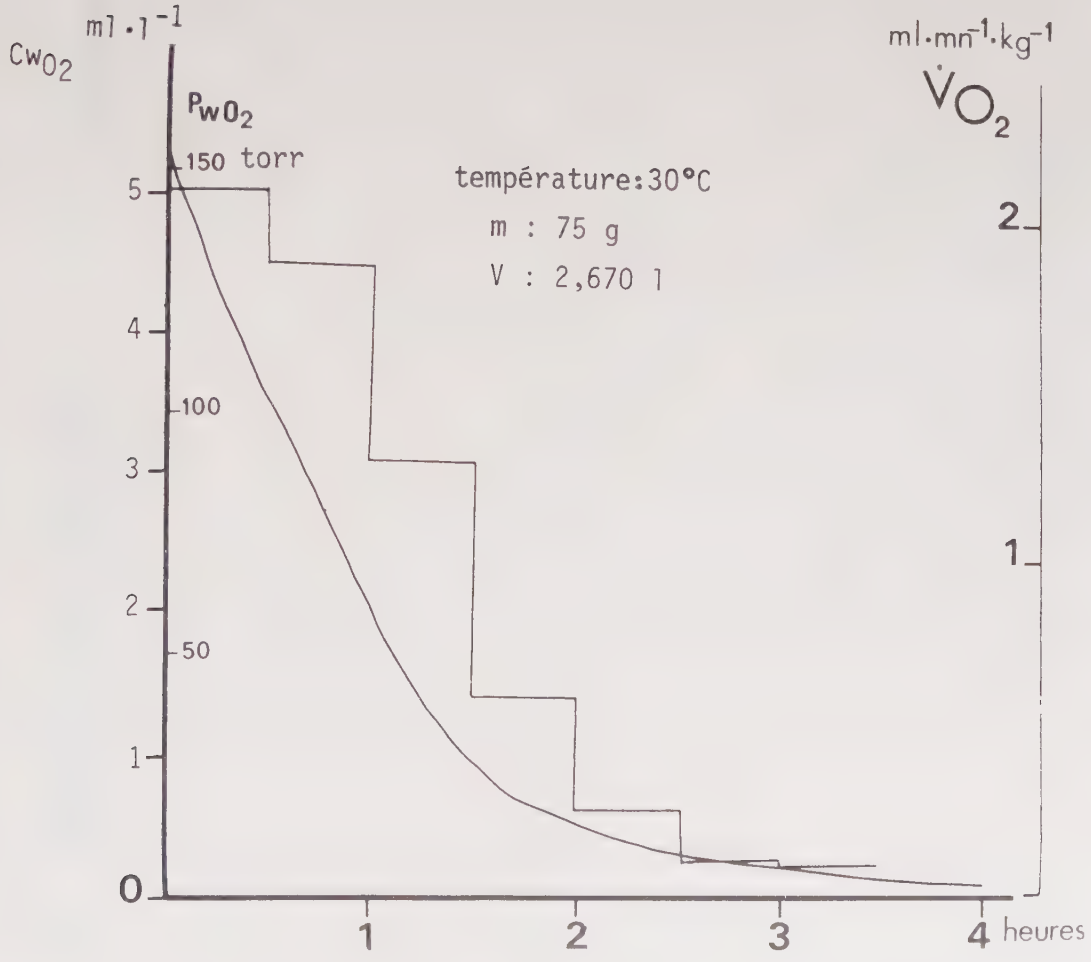
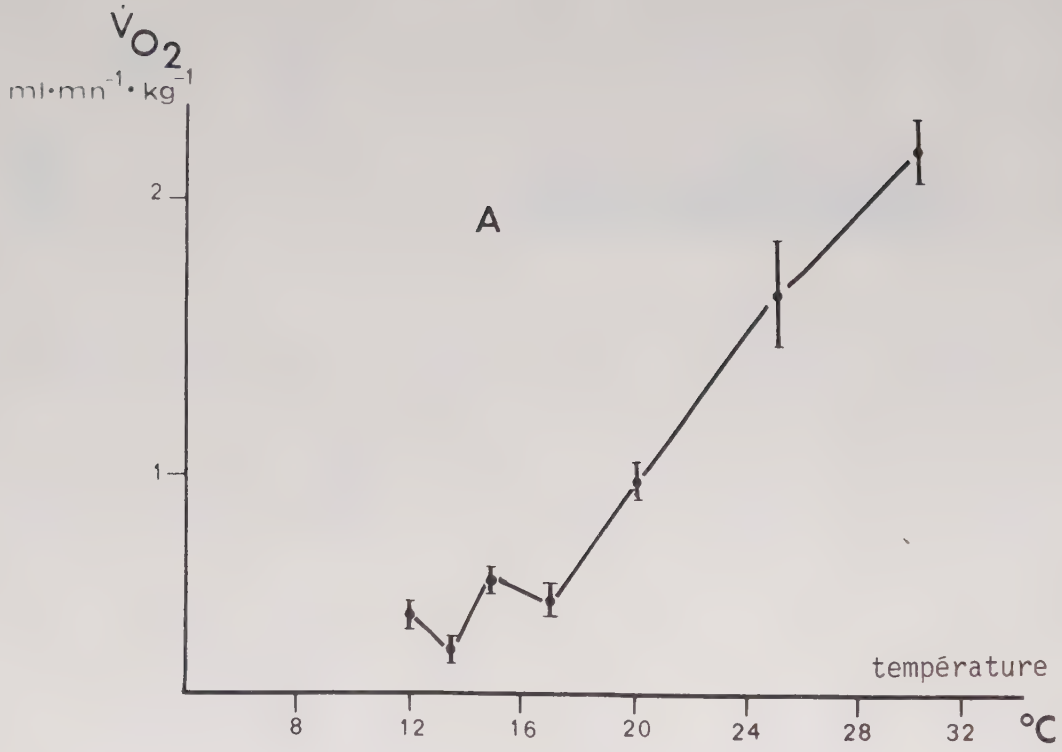


FIGURE 24 : Enregistrement de la courbe de décroissance de Pw_{O_2} dans une enceinte de 2,670 litres contenant une anguille de 75 grammes. Température de l'eau : 30°C.

En superposition sont portées les valeurs de la consommation d'oxygène ($\dot{V}_{O_2}$) calculées toutes les 30 minutes et exprimées en $ml \cdot mn^{-1} \cdot kg^{-1}$.



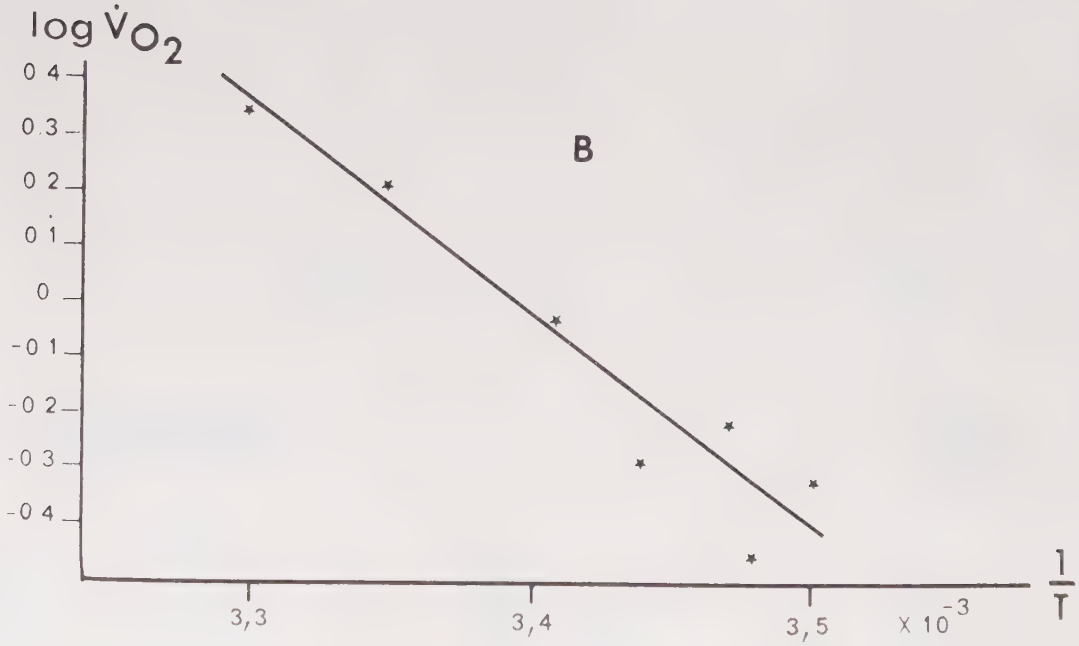


FIGURE 25 : A) Variations de la consommation d'oxygène de l'Anguille en fonction de la température (exprimée en degrés Celsius).
B) Expression des résultats sous la forme log $\dot{V}_{O_2}$ = f $(\frac{1}{T})$ (où T désigne la température absolu

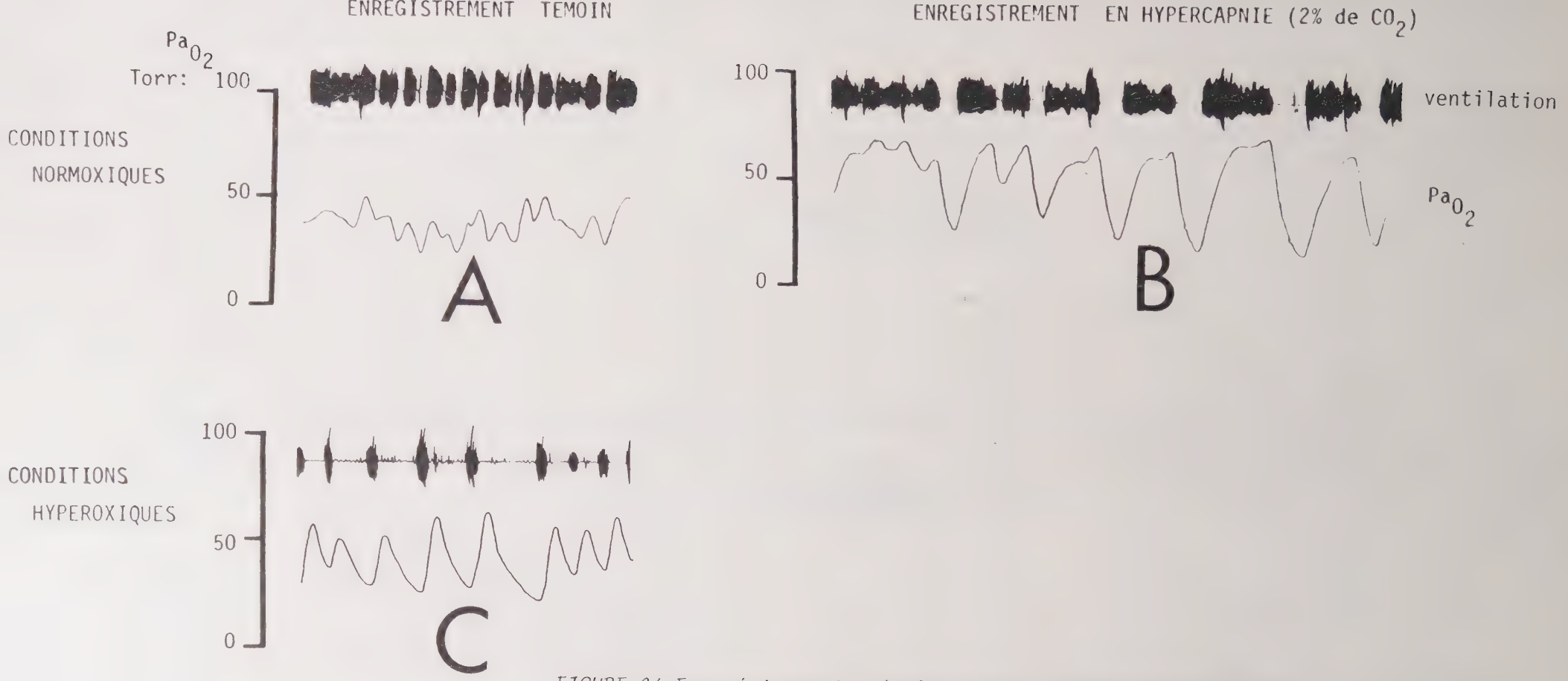
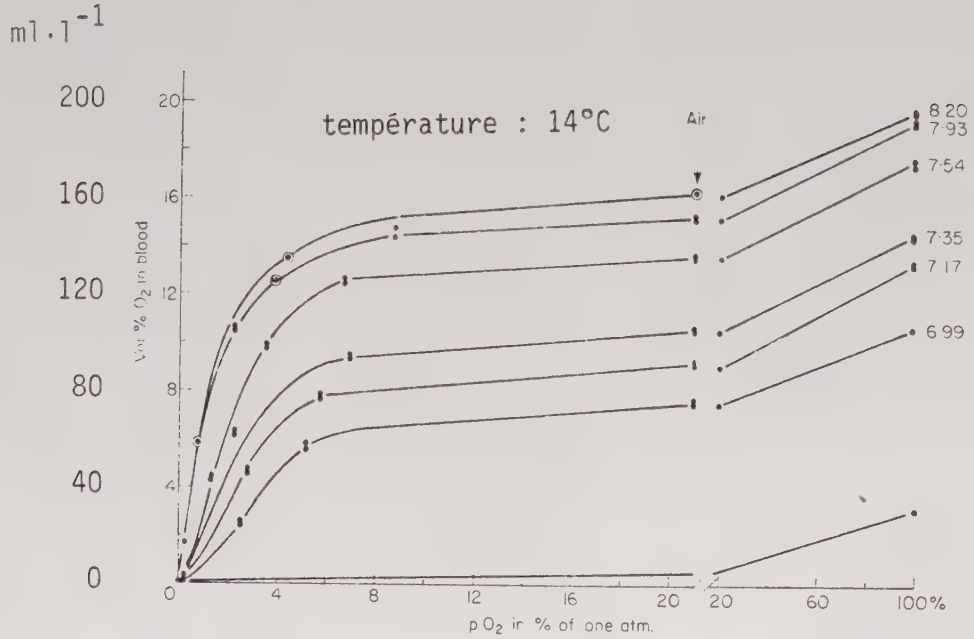
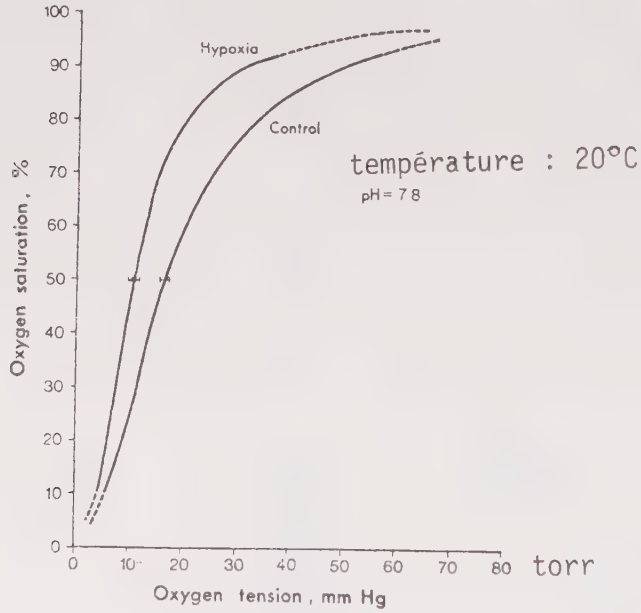


FIGURE 26 *Enregistrements simultanés de l'activité ventilatoire et de la pression partielle du sang en oxygène (Pa_{O_2}), effectuée à partir d'une anguille placée dans diverses conditions de milieu (température 12°C). Technique de circulation extracorporelle du sang. en A :Enregistrement de référence (normoxie, normocapnie). A remarquer les oscillations de Pa_{O_2} en relation avec l'activité ventilatoire. en B : Conditions normoxiques hypercapniques (Pw_{CO_2} = 14 torr). La valeur moyenne de Pa_{O_2} s'élève par rapport aux conditions normocapniques. en C : hyperoxie (Pw_{O_2} > 450 torr) et normocapnie. La valeur de Pa_{O_2} reste très inférieure à celle de Pw_{O_2}.*



O_2-equilibrium curves of eel blood at 14°C and pH from 6·99 to 8·20. Notice the effect of pH on the O_2-capacity (Root-effect). Bottom curve O_2-equilibrium curve of plasma. Haematocrit of whole blood 40 volume per cent (from Steen, 1963a).



Oxygen dissociation curves and red cell organic phosphates of whole blood in control and hypoxic eels. Horizontal bars represent $P_{50} \pm 2$ S.E.M. (from Wood & Johansen, 1972).

FIGURE 27 : Courbes de dissociation de l'oxyhémoglobine du sang d'Anguille (Anguilla anguilla L.) telles qu'elles ont été établies par STEEN (1963) et par WOOD et JOHANSEN (1972).

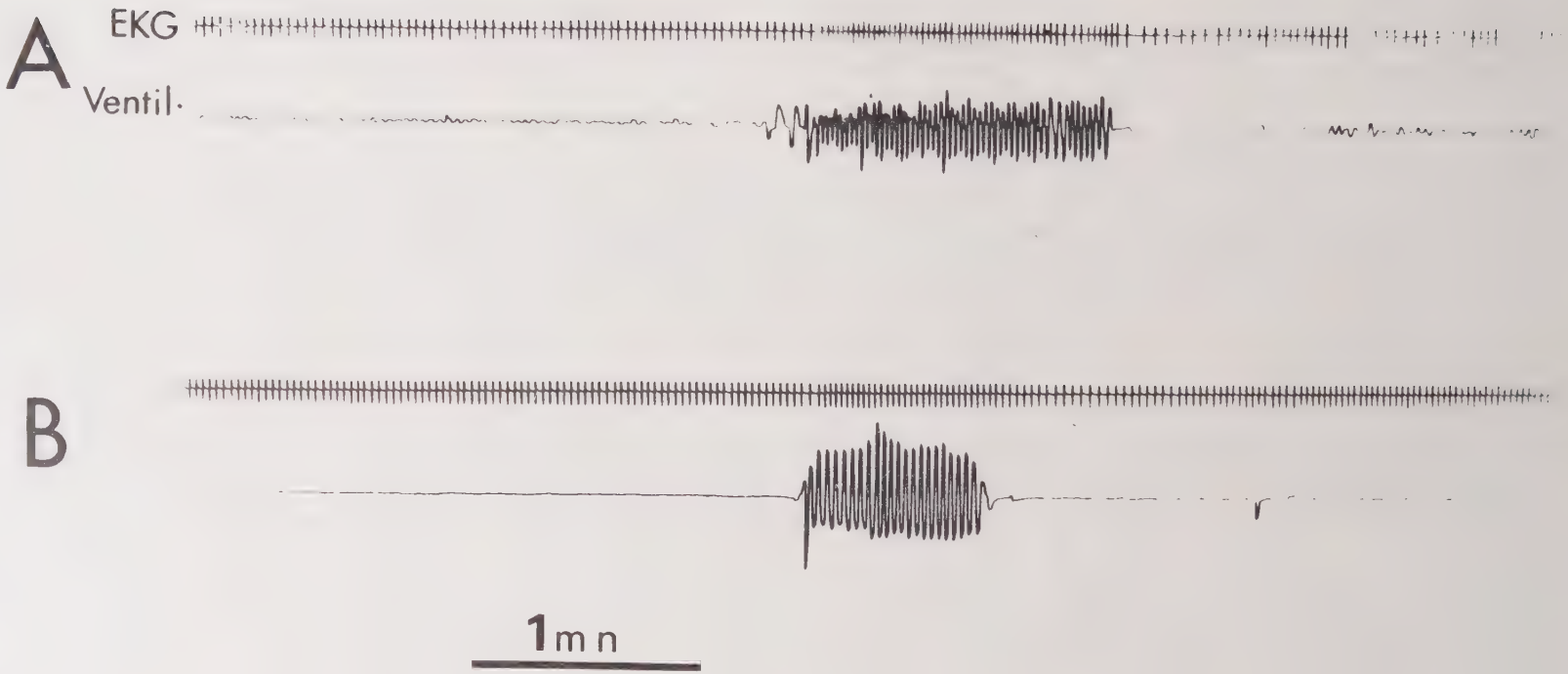


FIGURE 28 : Enregistrements simultanés de l'électrocardiogramme (E.K.G., tracés supérieurs) et de l'activité ventilatoire (tracés inférieurs) d'une même anguille.

En A : conditions normoxiques ($Pw_{O_2} \simeq 155$ torr) ;

En B : conditions hyperoxiques ($Pw_{O_2} \simeq 500$ torr et depuis 4 heures).

A noter la coordination entre la fréquence cardiaque et l'activité ventilatoire, plus marquée en normoxie (A) qu'en hyperoxie (B).

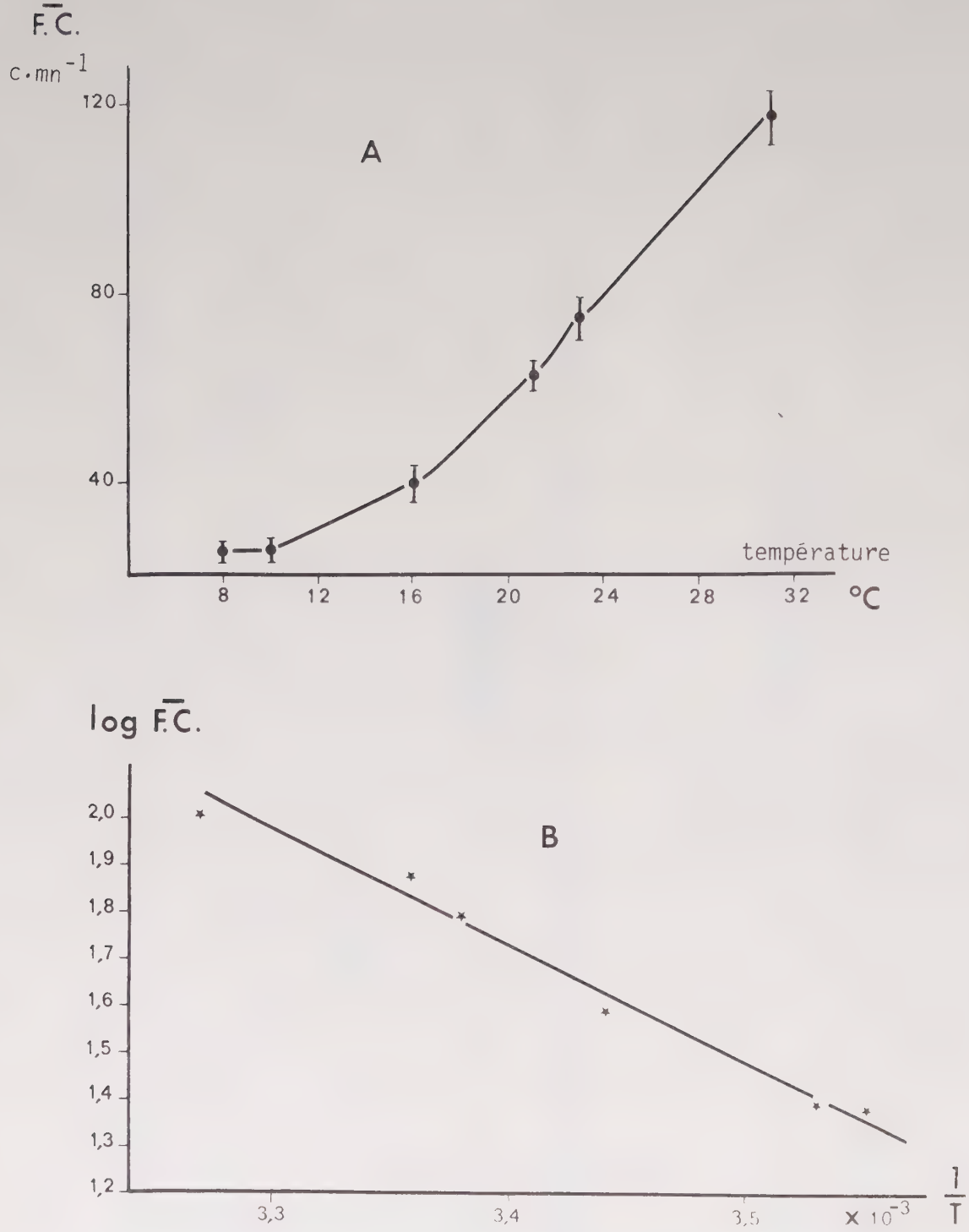


FIGURE 29 : A) Variations de la fréquence cardiaque moyenne ($\overline{FC}$) exprimée en $c \cdot mn^{-1}$, en fonction de la température exprimée en degré Celsius. B) Expression des résultats sous la forme $\log \overline{FC} = f\left(\frac{1}{T}\right)$ (où T désigne la température absolue). La linéarité de cette courbe est discutée dans le texte.

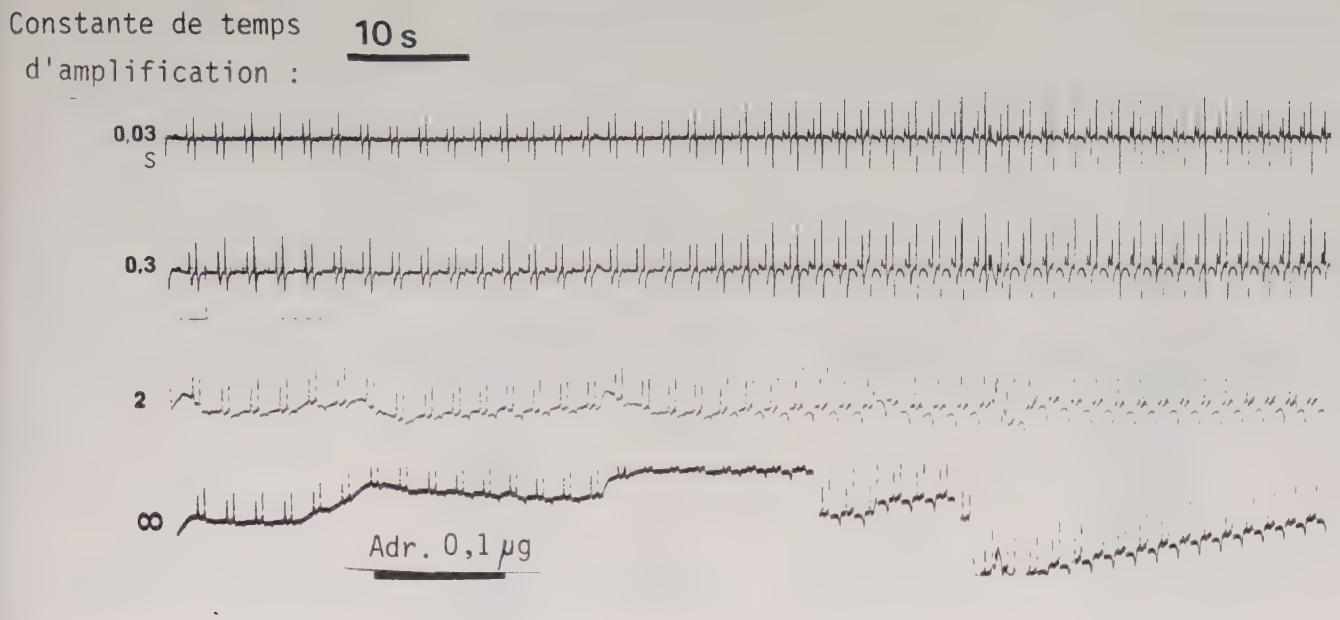


FIGURE 30 : Actions de l'adrénaline sur l'électrocardiogramme du coeur perfusé de Congre : enregistrements simultanés du même phénomène à l'aide de 4 amplificateurs réglés sur les constantes de temps désignées. A noter : 1) la distorsion des signaux introduite par les faibles constantes de temps ; 2) les changements d'amplitude du complexe Q.R.S. qui apparaissent sur les 4 tracés sous l'effet de l'adrénaline.

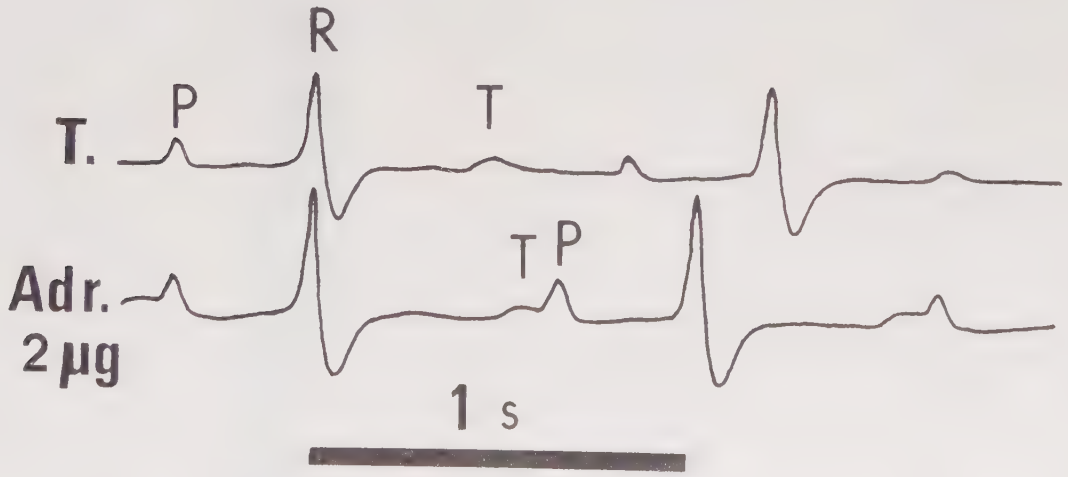


FIGURE 31 : Electrocardiogrammes retracés à partir d'enregistrements transcrits à grande vitesse. Constante de temps d'amplification : 0,03 s.
T : E.K.G. normal d'un coeur perfusé de Congre ;
Adr. : E.K.G. enregistré à partir du même coeur au moment de l'effet maximal d'une injection (2 µg) d'adrénaline dans le circuit de perfusion.

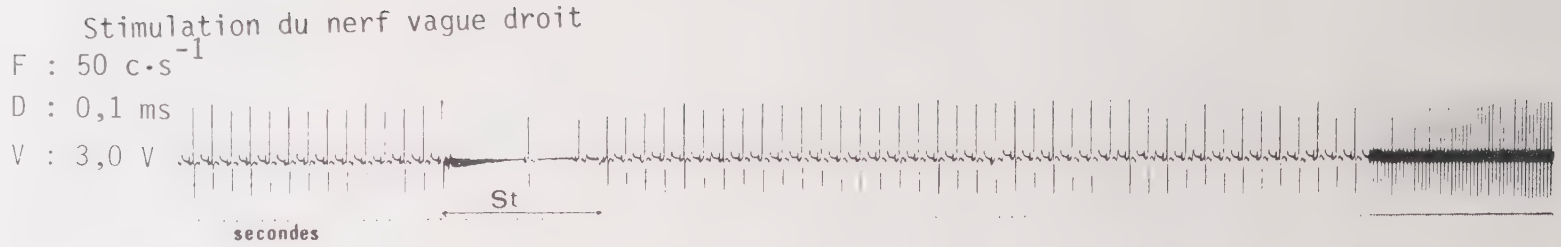


FIGURE 32 : Effets de la stimulation vagale (St) sur l'E.K.G. d'un coeur perfusé de Congre. Effet bradycardique, échappement, retour rapide à un tracé identique au tracé de référence après l'arrêt de la stimulation.

FIGURE 33 : Effets d'une stimulation vagale (St) sur l'E.K.G. d'un coeur perfusé de Congre. Observation d'un post-effet (tachycardie et augmentation d'amplitude de l'onde P et du complexe Q.R.S., rappelant l'effet des catécholamines (Figures 30 et 31).

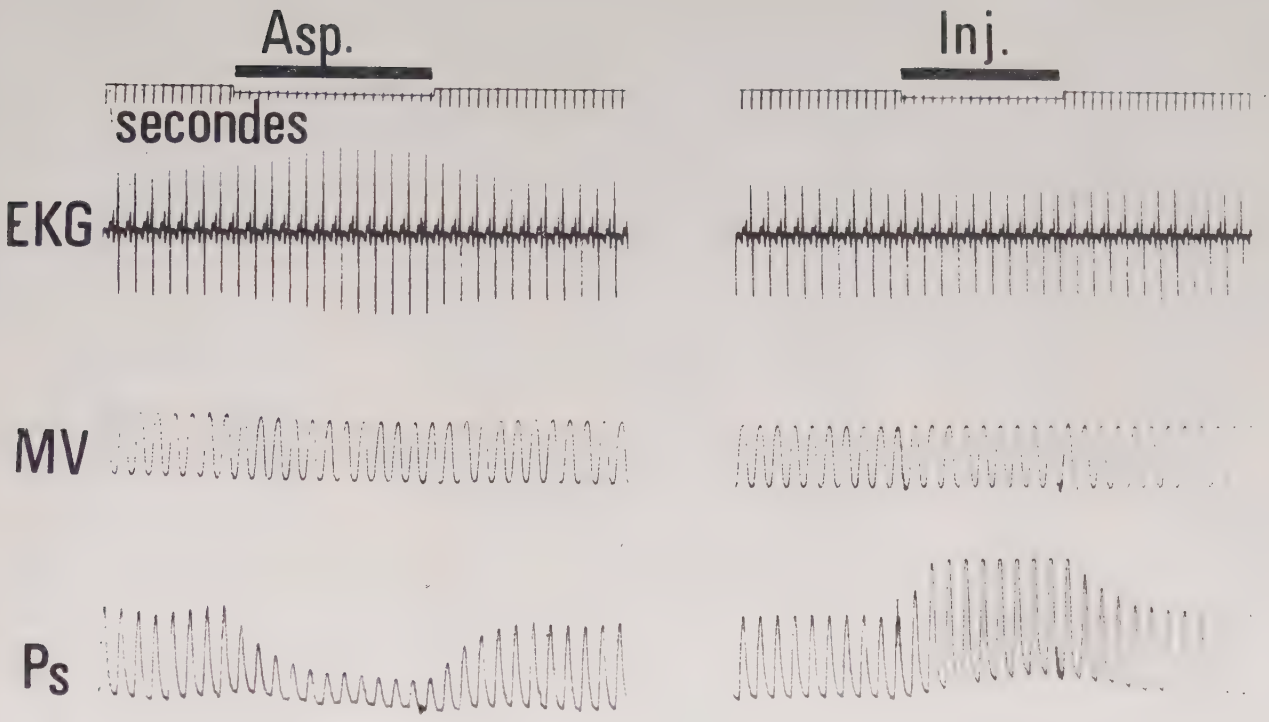


FIGURE 34 : Modifications de l'électrocardiogramme (E.K.G.), du mécanogramme ventriculaire (M.V.) et de la pression sanguine (PS) à la sortie du coeur de Congre, sous les effets de l'aspiration transpariétale (Asp.) du sang intraventriculaire et de l'injection transpariétale intraventriculaire de liquide physiologique (Inj.)

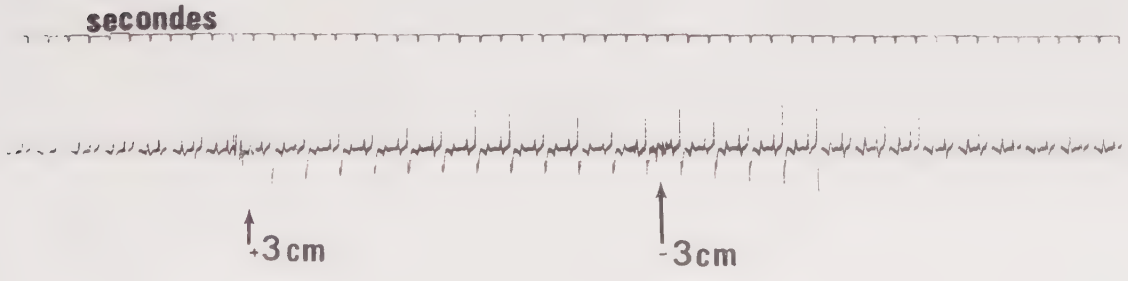


FIGURE 35 : Modifications de l'électrocardiogramme d'un coeur perfusé de Congre sous l'effet d'une augmentation (+ 3 cm) de la pression de perfusion. La deuxième flèche (- 3 cm) indique le retour à la pression initiale.

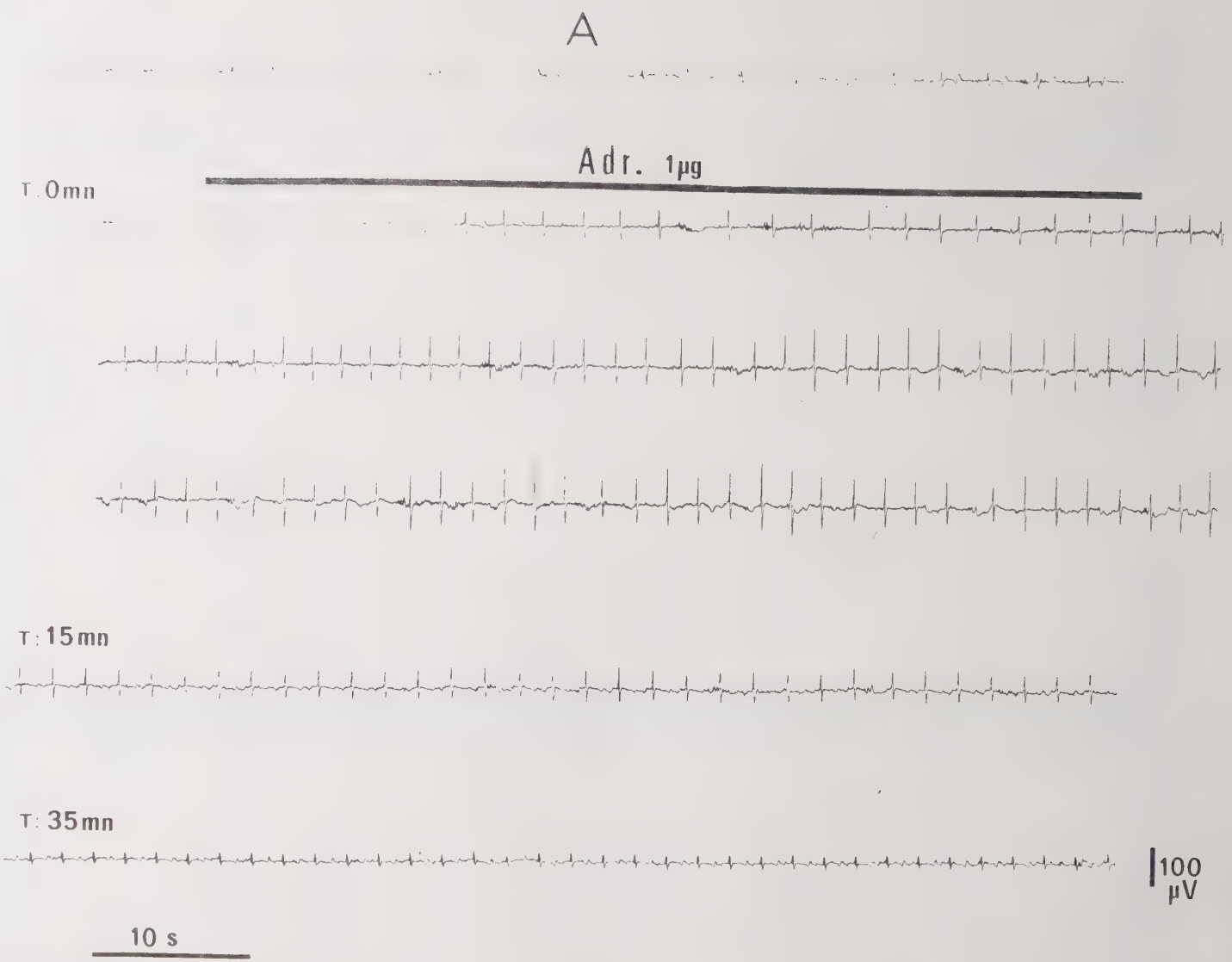


FIGURE 36 : Exemple d'augmentation de l'amplitude du complexe Q.R.S. de l'E.K.G. d'une anguille de 100g à la suite d'une injection intra-veineuse d'adrénaline (1 µg). constante de temps d'amplification : 0,03 s.
A : effet bradycardique à l'approche de l'expérimentateur.

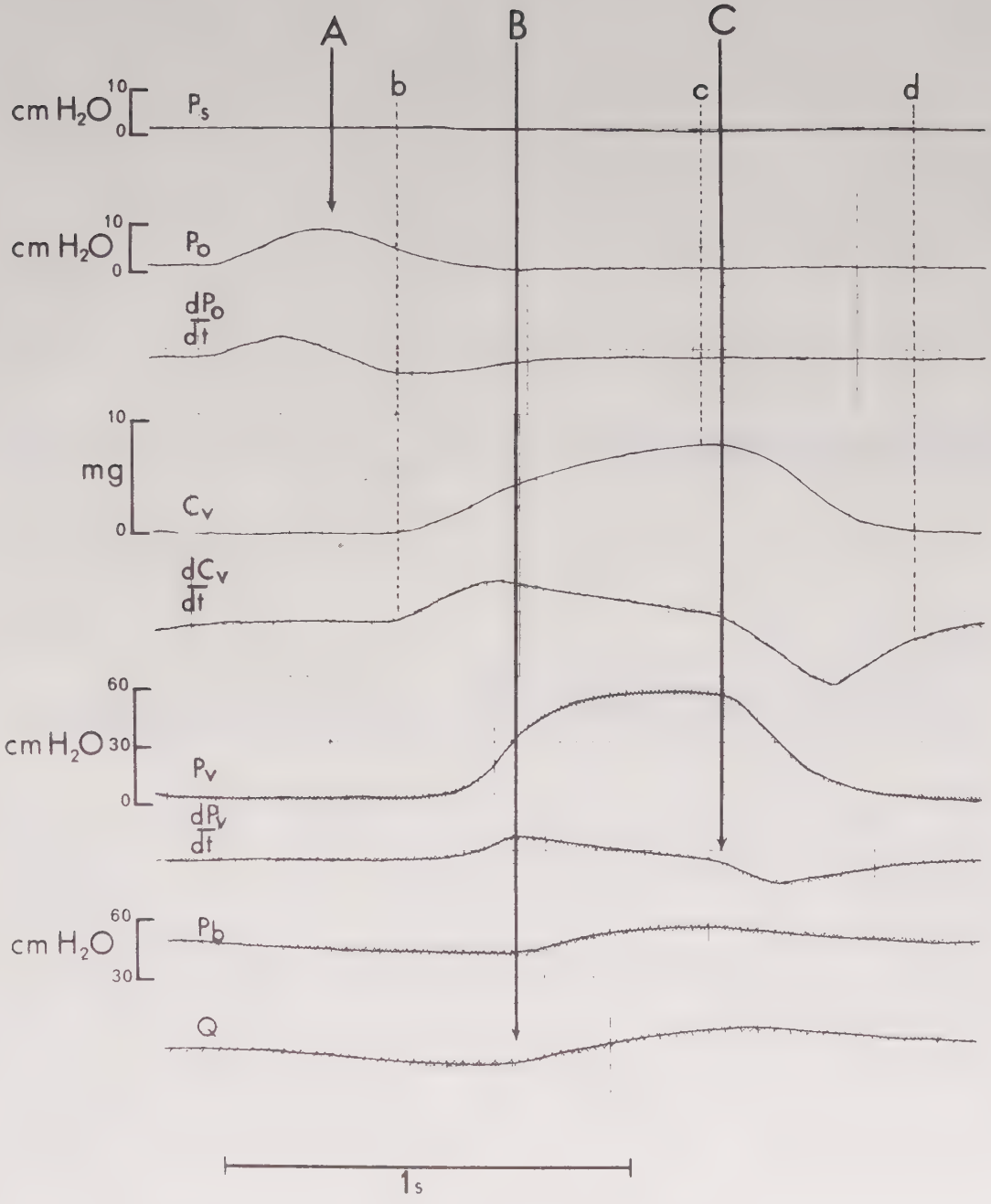


FIGURE 37 : Superposition des divers enregistrements mécaniques et hémodynamiques au cours d'un cycle cardiaque d'un coeur de Congre exposé mais non perfusé.

Ps : pression sanguine dans le sinus veineux ; Po : pression sanguine dans l'oreillette ; $\frac{dPo}{dt}$: étude des variations de Po à l'aide d'un circuit dérivateur ; Cv : force contractile exercée par le ventricule ; $\frac{dCv}{dt}$: variations de Cv ; Pv : pression intraventriculaire ; $\frac{dPv}{dt}$: variations de Pv ; Pb : pression sanguine dans le bulbe aortique ; Q : débit sanguin dans l'aorte ventrale obtenu par débitmétrie électromagnétique. (Description détaillée dans le texte)

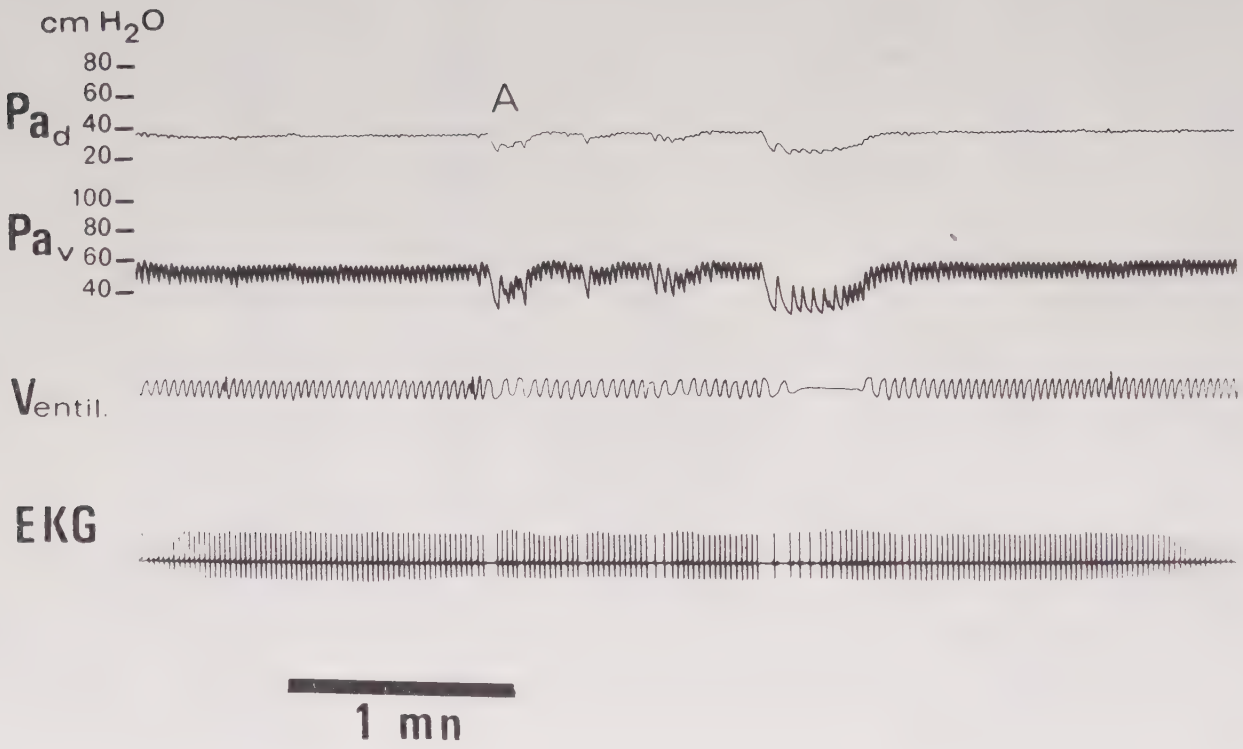


FIGURE 38 : Enregistrement polygraphique effectué sur une anguille rachiautomisée placée en conditions de référence (16°C ; $Pw_{O_2} \simeq 155$ torr ; $Pw_{CO_2} \simeq 0,2$ torr).

Pa_d : pression sanguine dans l'aorte dorsale ; Pa_v : pression sanguine dans l'aorte ventrale ; ventil. : tracé operculographique ; E.K.G. : électrocardiogramme.

On peut noter l'ordre de grandeur de ces caractéristiques et les effets inhibiteurs cardio-ventilatoires déclenchés à l'approche de l'expérimentateur(A).

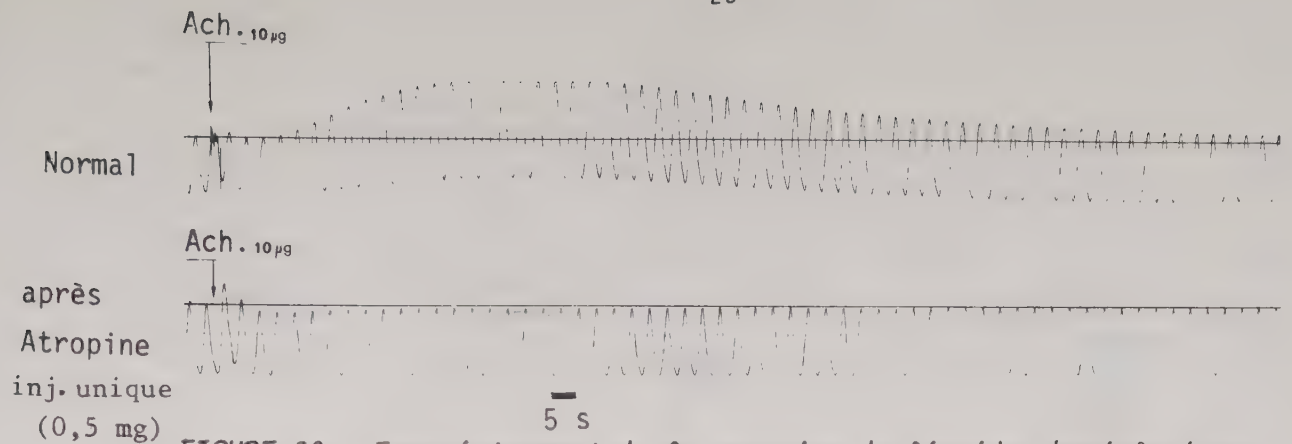


FIGURE 39 : *Enregistrement de la pression du liquide physiologique à l'entrée d'un système branchial de Congre perfusé par une pompe à débit pulsatile constant.*

Tracé supérieur : effets de l'acétylcholine injectée dans le liquide de perfusion en 5 secondes (l'accroissement de pression indique une vasoconstriction branchiale).

Tracé inférieur : effets d'une même injection après traitement de la préparation à l'atropine : abolition des effets.

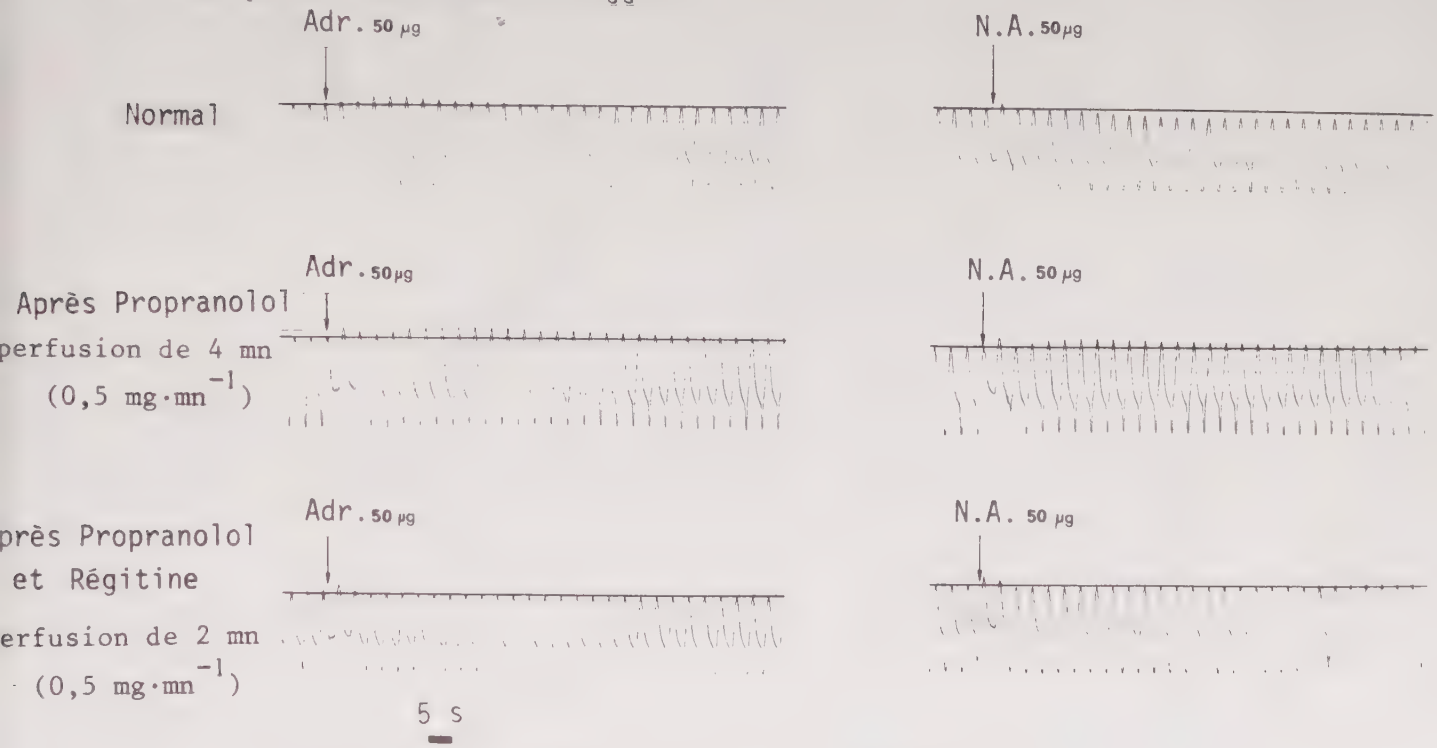


FIGURE 40 : *Même type d'enregistrement que celui de la figure précédente.*

Effets de l'adrénaline et de la noradrénaline (50 µg en injection unique et en 5 secondes). Les injections sont répétées après traitement au propranolol (tracés intermédiaires) et après un double traitement au propranolol et à la régitine (tracés inférieurs).

(Normal : vasoconstriction sous l'effet de l'adrénaline, vasodilatation sous l'effet de la noradrénaline. Sous propranolol : vasoconstriction dans les deux cas. Sous propranolol et régitine : abolition totale des effets.

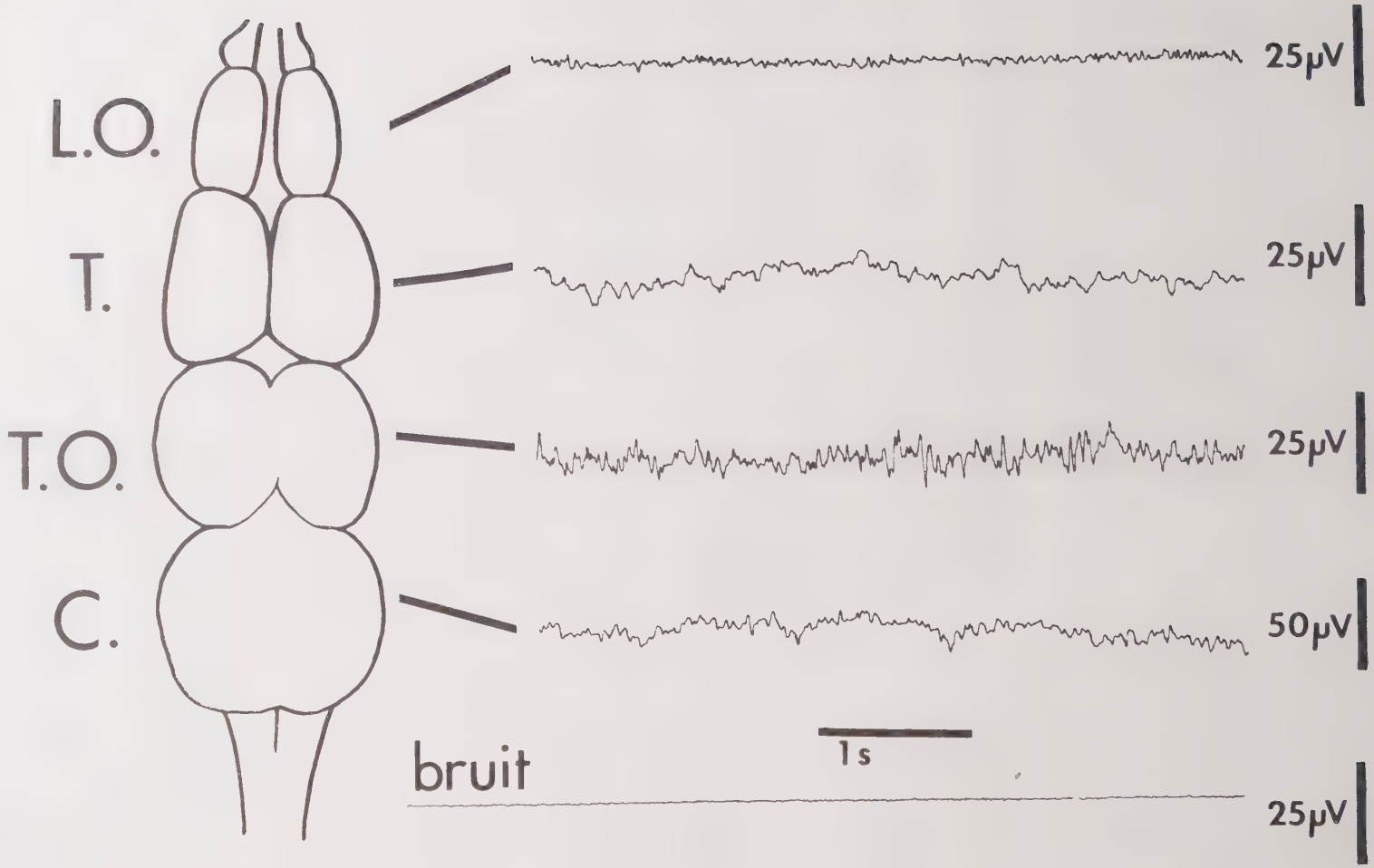


FIGURE 41 : Activité électroencéphalographique de diverses vésicules encéphaliques d'Anguille maintenue en conditions de référence.

L.O. : lobes olfactifs ; T : télencéphale ; T.O. : toit optique ; C. : cervelet.

Bruit : bruit de fond de l'appareillage évalué après la mort du poisson.

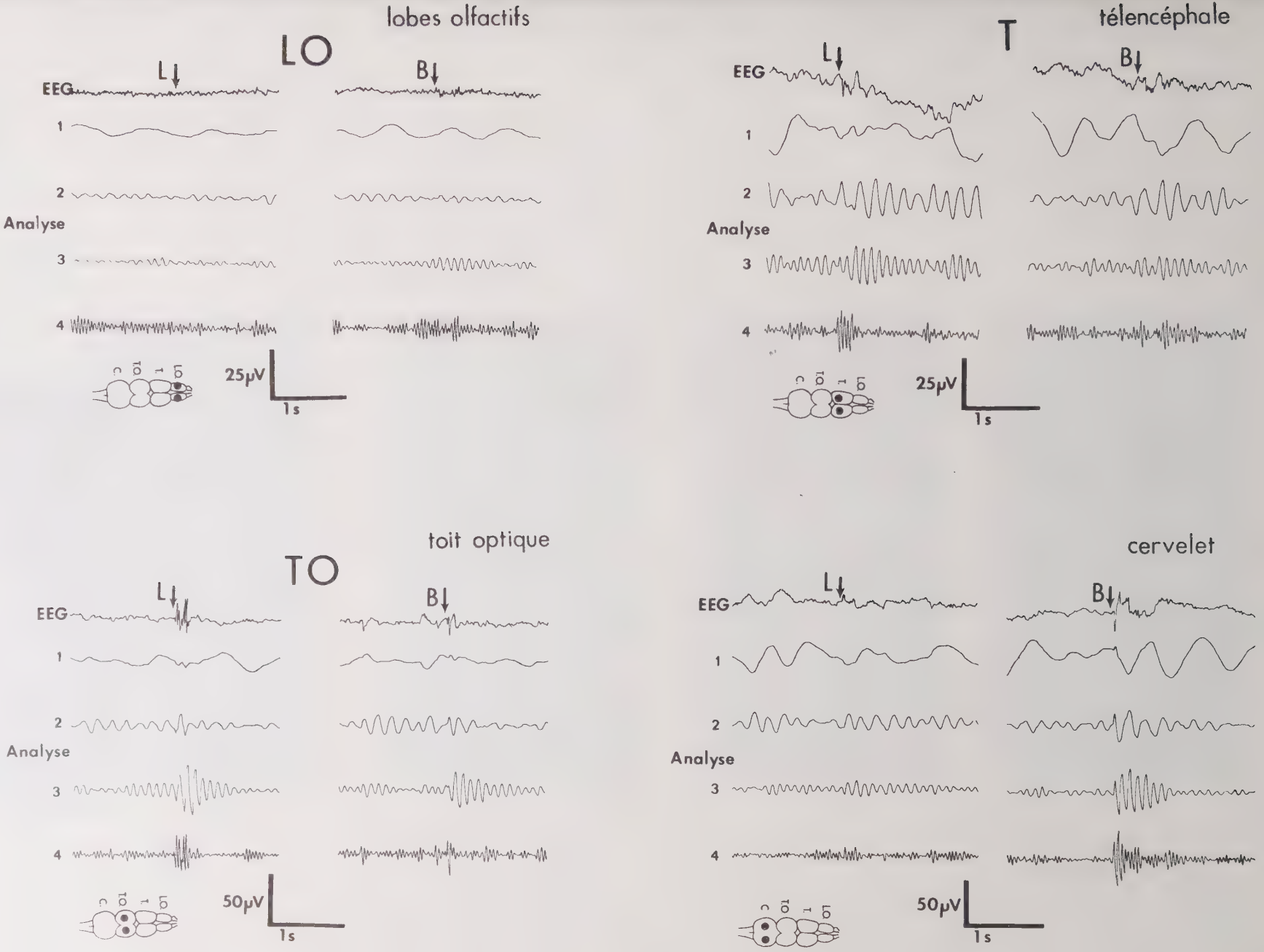


FIGURE 42 : *Effets de la lumière (L.) et du bruit (B.) sur l'activité électrique des vésicules encéphaliques étudiées : tracés E.E.G. et analyse des fréquences simultanée (1, 2, 3 et 4).*

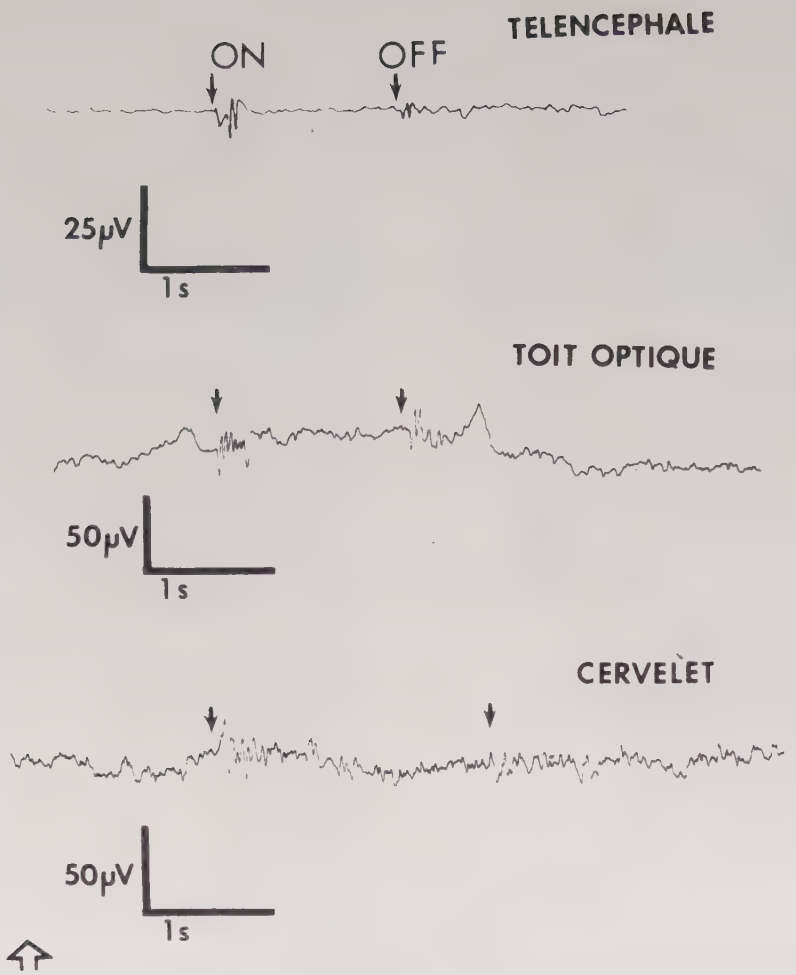
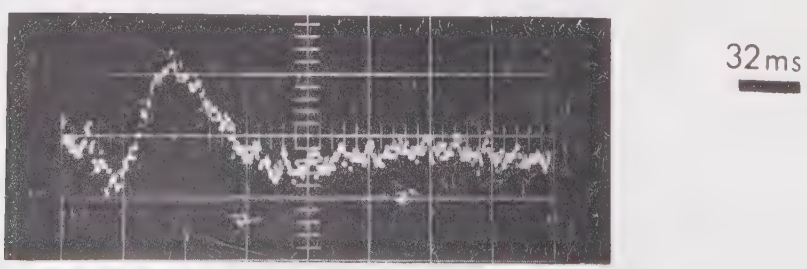


FIGURE 43 : *Exemples de réponses de type "ON-OFF" observées au niveau des tracés E.E.G. d'Anguille sous l'effet de l'éclairement et de l'extinction de la salle.*

FIGURE 44 : *Moyenne de 100 potentiels évoqués par un bruit, obtenue à partir des enregistrements E.E.G. du cervelet d'Anguille.*



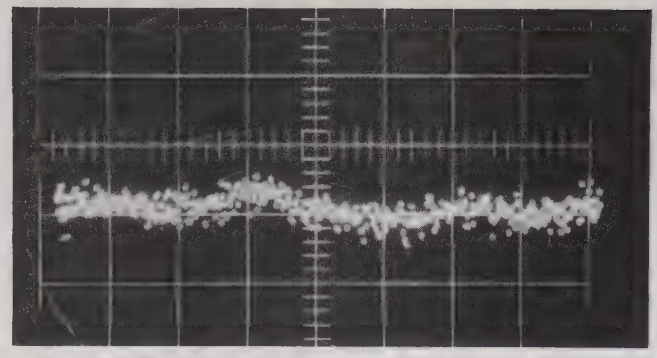
STIMULATION PAR FLASH

Gain :

(Unité arbitraire)

LOBES OLFACTIFS

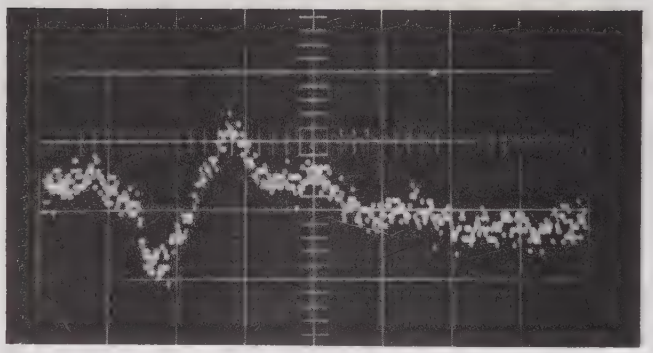
N = 500



X 2

TELENCEPHALE

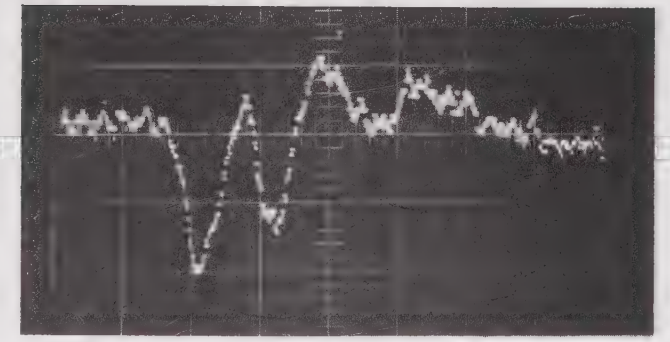
N = 500



X 4

TOIT OPTIQUE

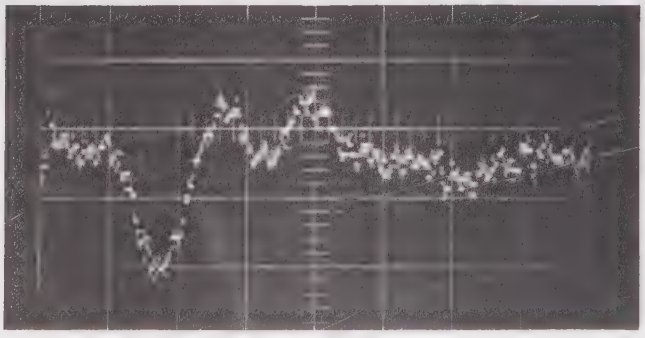
N = 100



X 1

CERVELET

N = 500



X 2

32 ms

FIGURE 45 : *Potentiels évoqués visuels moyennés, obtenus au niveau de différentes vésicules encéphaliques de l'Anguille. Stimulation par flashes. La réponse est particulièrement ample au niveau du toit optique.*

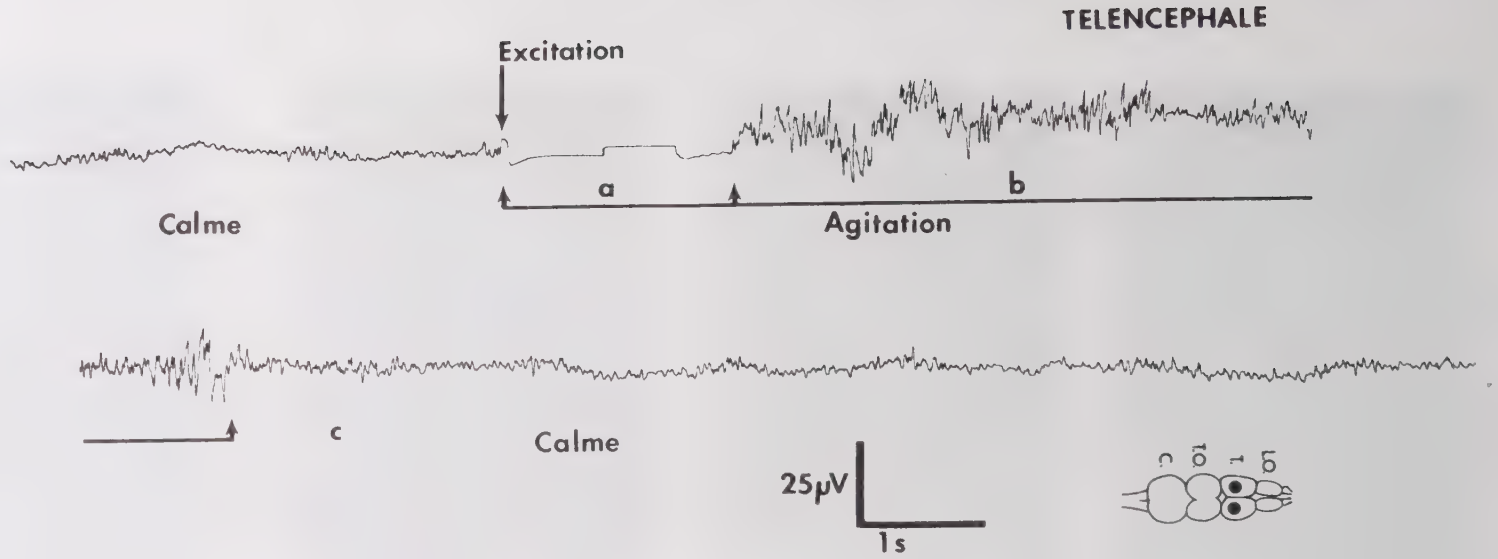


FIGURE 46 : Exemple de perturbations de l'enregistrement E.E.G. en relation avec les déplacements de l'Anguille dans l'aquarium. (Commentaires dans le texte).

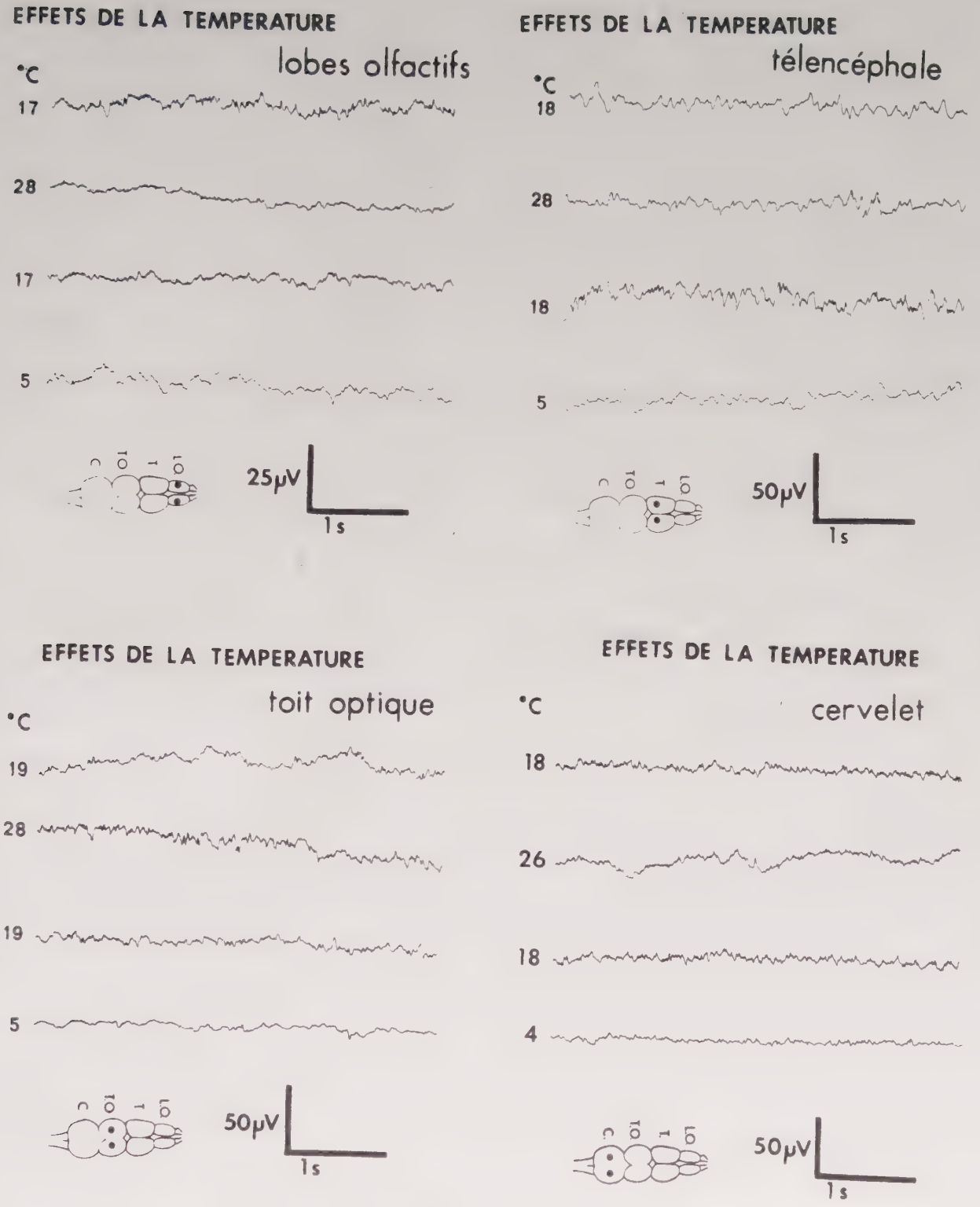


FIGURE 47 : Modifications de l'activité E.E.G. des diverses vésicules encéphaliques étudiées chez l'Anguille, en relation avec les changements de température. Les temps de séjour à la température correspondante permettent l'équilibre thermique entre le poisson et le milieu, mais non l'adaptation. (Commentaires dans le texte).

HYPOXIE (100% N_2)

lobes olfactifs

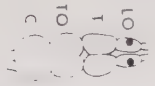
Témoin

1 heure

2 heures

4 heures

2 h.après



25µV

1s

HYPOXIE (100% N_2)

télencéphale

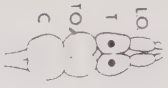
Témoin

1 heure

2 heures

4 heures

18 h.après



50µV

1s

HYPOXIE (100% N_2)

toit optique

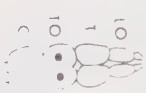
Témoin

1 heure

2 heures

4 heures

24 h.après



50µV

1s

HYPOXIE (100% N_2)

cervelet

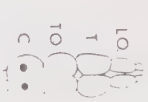
Témoin

1 heure

2 heures

4 heures

24 h.après



50µV

1s

FIGURE 48 : Enregistrements E.E.G. des diverses vésicules encéphaliques étudiées chez l'Anguille, effectués à diverses étapes d'un séjour hypoxique (bullage d'azote 100%) à la température de 17°C. Les tracés intitulés "après" ont été réalisés après retour aux conditions normoxiques. (Commentaires dans le texte).

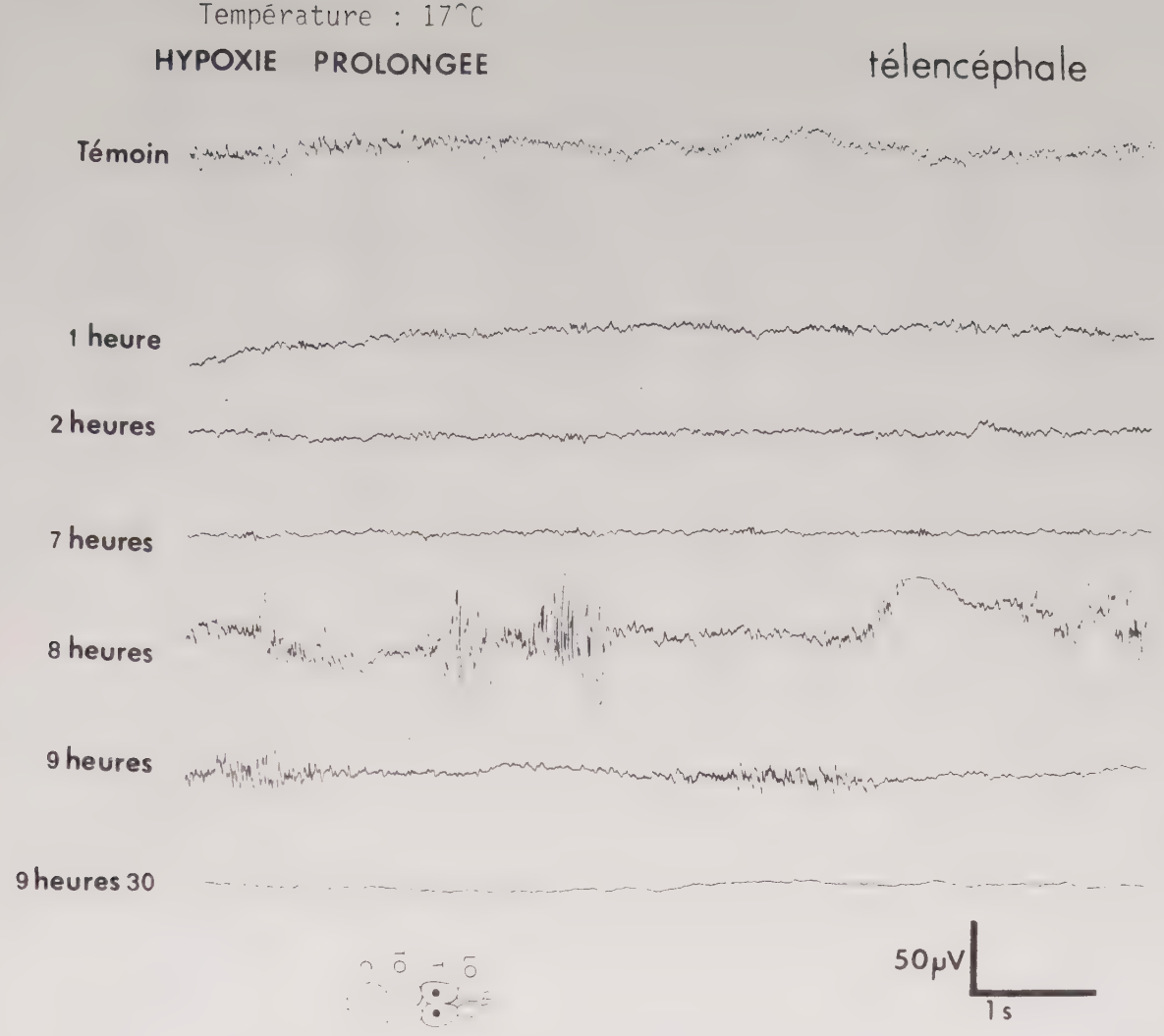


FIGURE 49 : Enregistrement électroencéphalographique du télencéphale d'Anguille - Effets de l'anoxie prolongée (Pw_{O_2} < 5 torr).

Témoin : tracé normal ;

Au-dessous : enregistrements effectués au terme des durées indiquées de séjour hypoxique (bullage d'azote à 100% dans l'aquarium).

(L'activité E.E.G. persiste pendant 9 heures en anoxie).

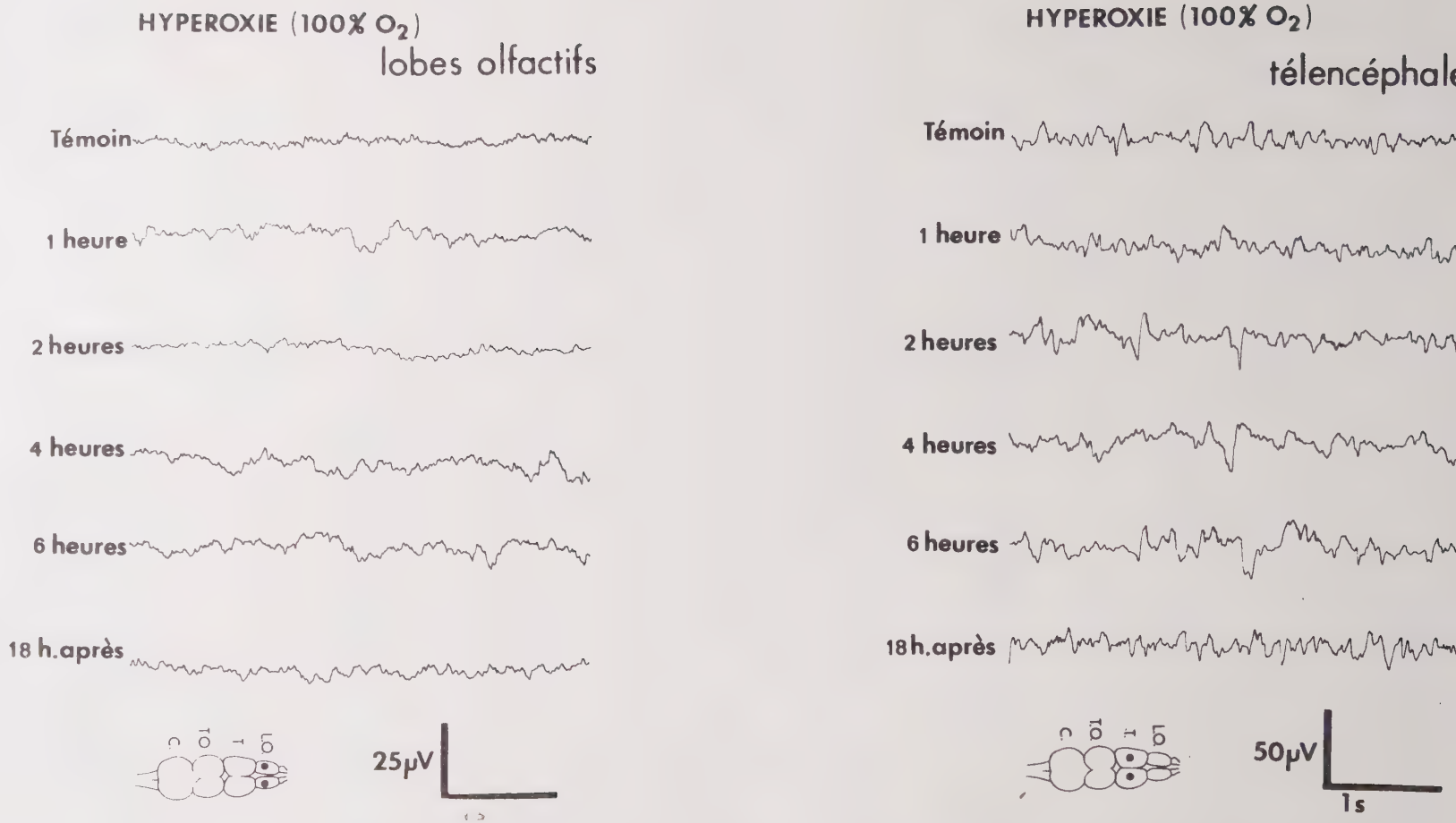


FIGURE 50 : Activité E.E.G. des lobes olfactifs (à gauche) et du télencéphale (à droite) enregistrée à diverses étapes d'un séjour en hyperoxie normobare (Pw_{O_2} > 450 torr) de durée 6 heures et à la température de 17°C. Les tracés inférieurs ont été effectués 18 heures après le retour aux conditions normoxiques. (Absence d'effet caractéristique).

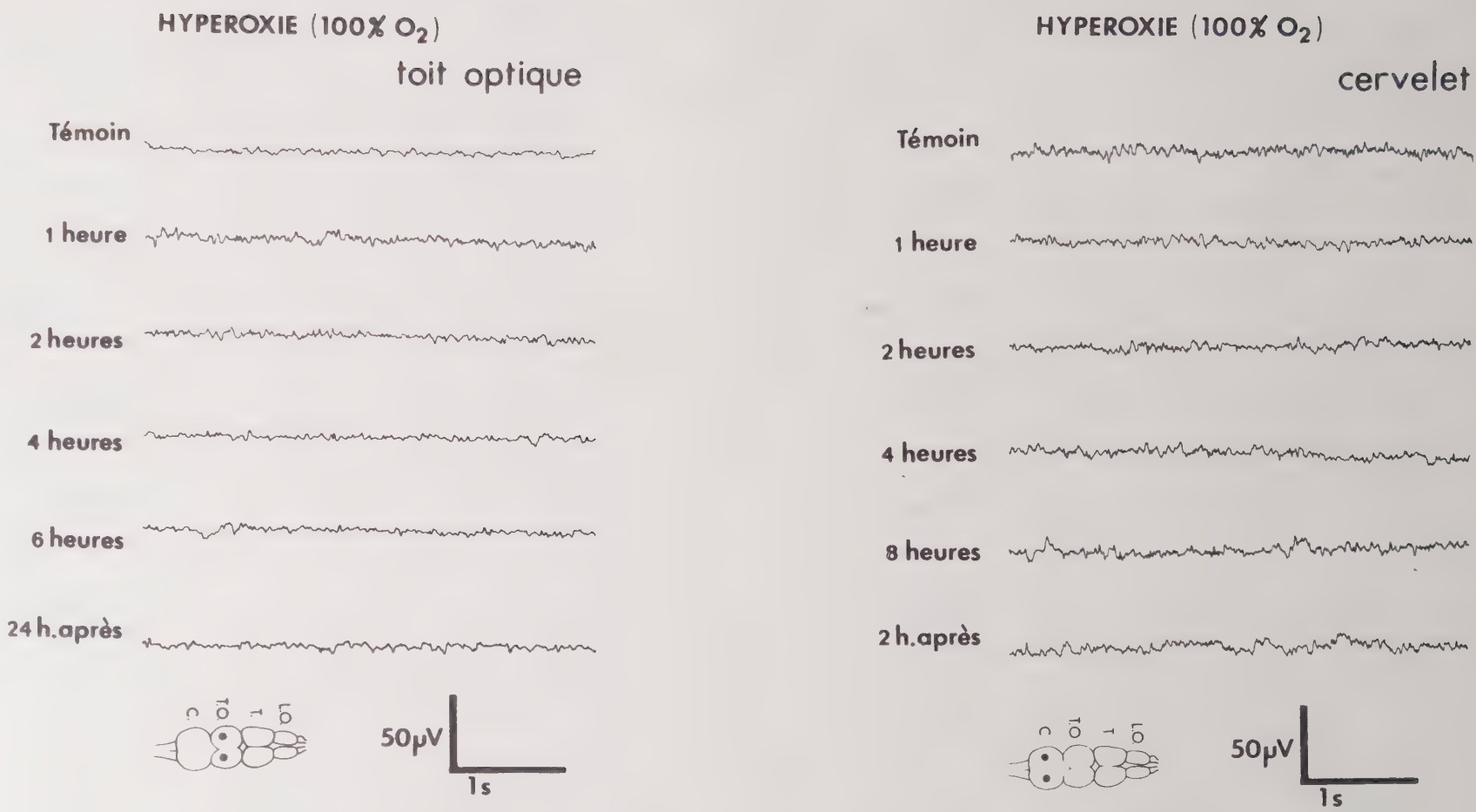


FIGURE 31 : Activité E.E.G. du toit optique (à gauche) et du cervelet (à droite) enregistrée à diverses étapes d'un séjour en hyperoxie normobare (Pw_{O_2} > 450 torr) de durée respectivement 6 et 8 heures et à la température de 17°C. Les tracés inférieurs ont été effectués après retour aux conditions normoxiques. (Absence d'effet caractéristique).

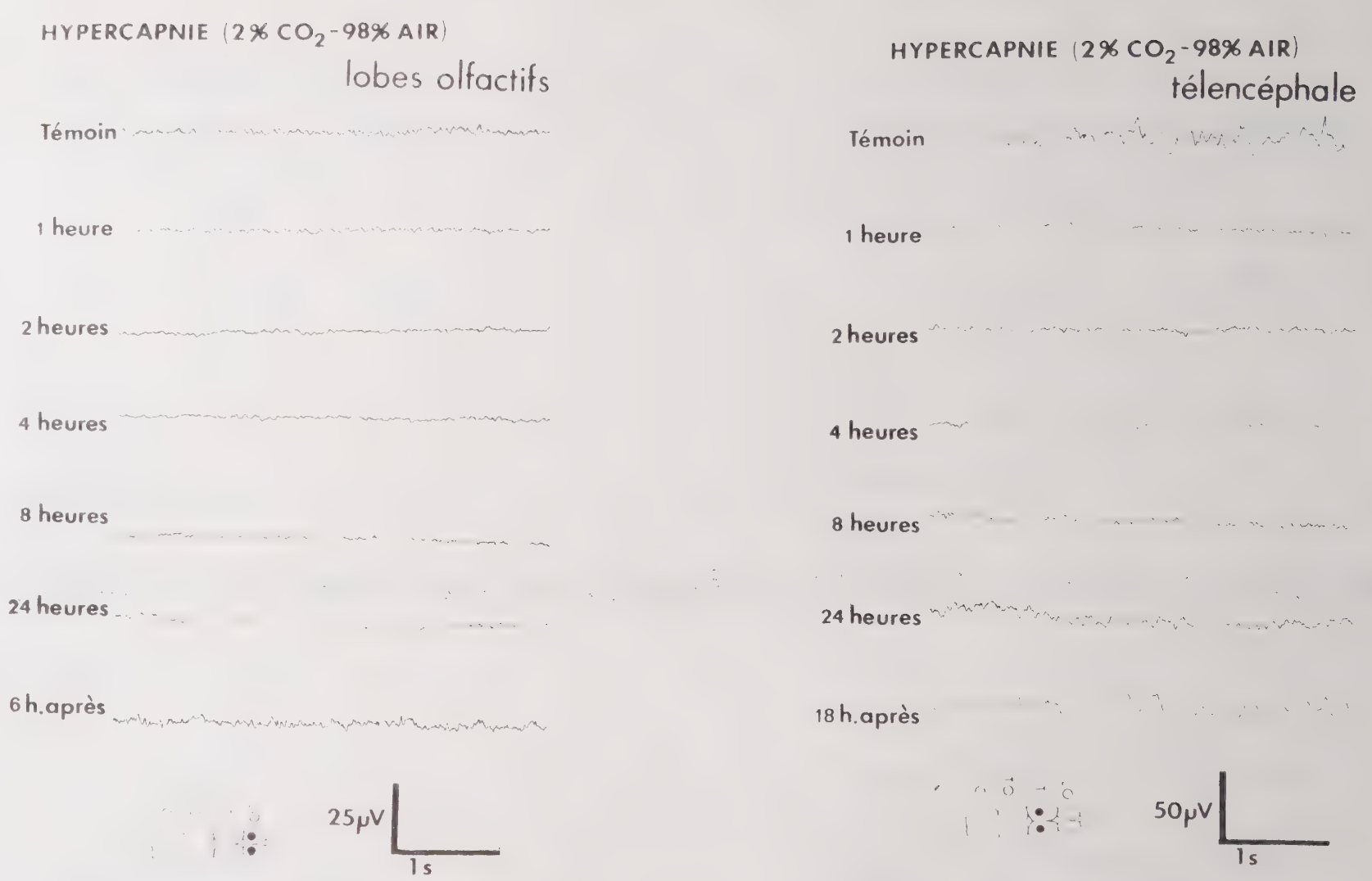


FIGURE 5 : Activité E.E.G. des lobes olfactifs (à gauche) et du télencéphale (à droite) enregistrée à diverses étapes d'un séjour hypercapnique ($Pv_{CO_2} \simeq 14$ torr) de 24 heures et à 17°C. Les tracés "après" ont été effectués après retour aux conditions normocapniques. (L'hypercapnie diminue l'amplitude de l'activité E.E.G.).

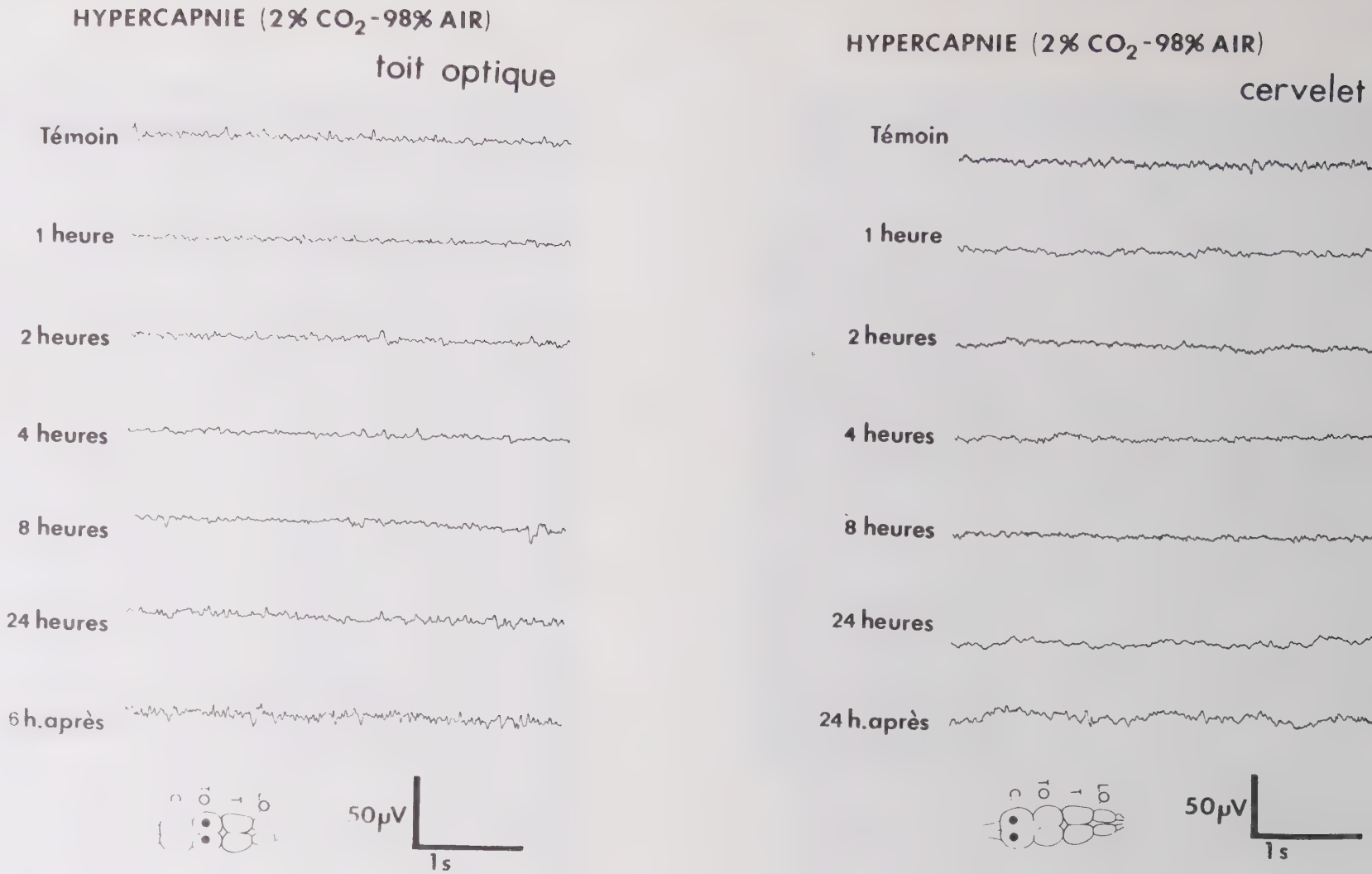
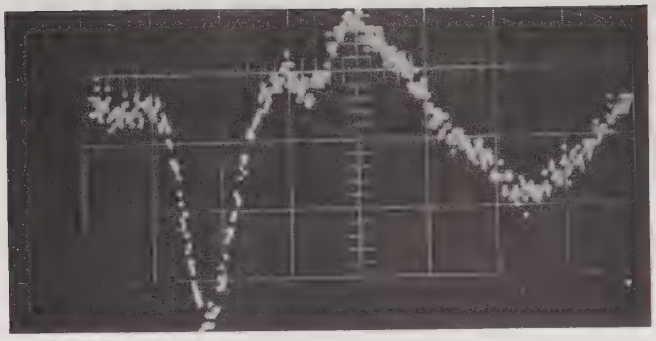


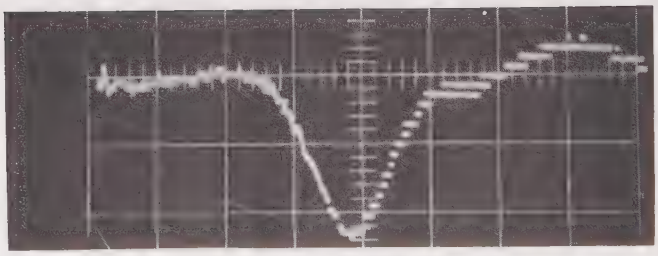
FIGURE 53 : Activité E.E.G. du toit optique (à gauche) et du cervelet (à droite) enregistrée à diverses étapes d'un séjour hypercapnique ($Pw CO_2 \simeq 14$ torr) de 24 heures et à 17°C. Les tracés "après" ont été effectués après retour aux conditions normocapniques. (Diminution d'amplitude des tracés E.E.G. sous l'effet de l'hypercapnie).

HYPERCAPNIE (2% CO_2 - ~~99~~ 98% air).

TEMOIN



APRES
24 heures



32 ms

FIGURE 54 : *Potentiels évoqués moyennés (N = 100) obtenus à partir des tracés E.E.G. du toit optique d'une anguille :*

tracé supérieur : conditions de référence.

tracé inférieur : au terme d'un séjour de 24 heures en milieu hypercapnique (Pw_{CO_2} ≃ 14 torr).

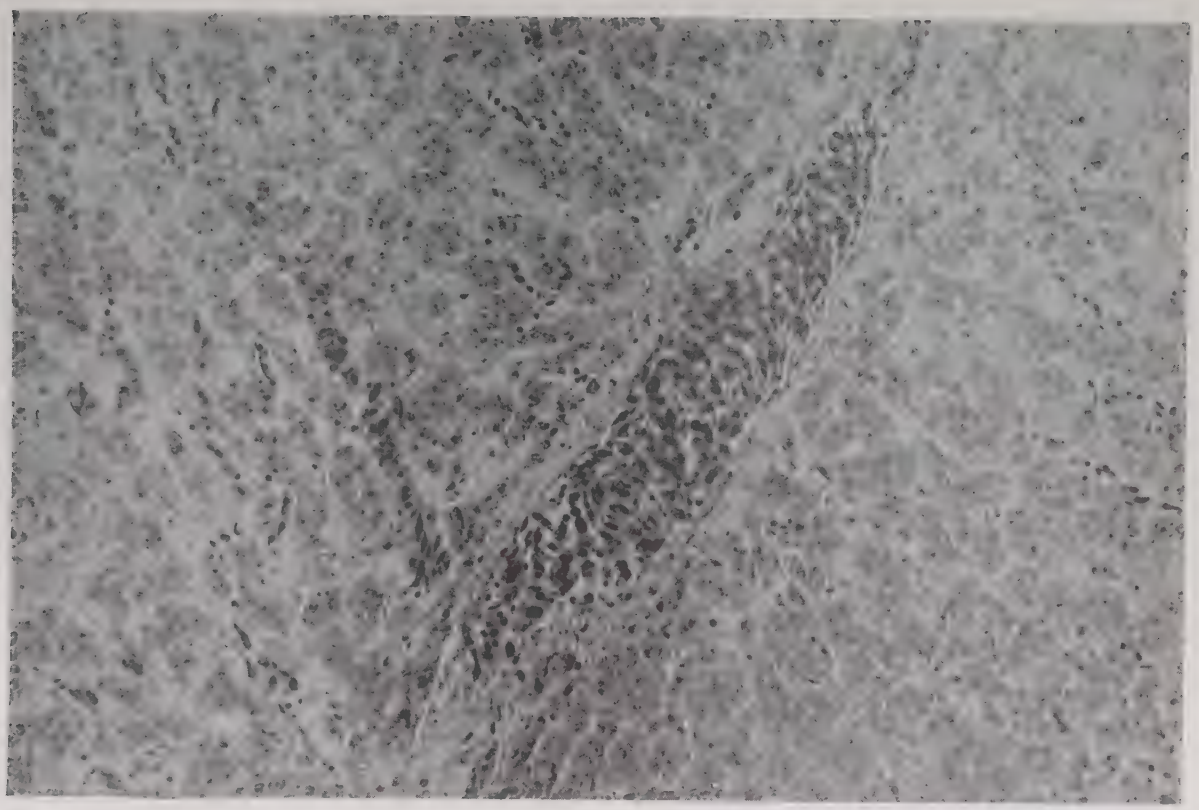


FIGURE 55 : Coupe de foie d'Anguille sacrifiée après un séjour de 1 heure à 101 ATA. Coloration H.E.S.. Grossissement : x 130.

Congestion des vaisseaux portes et des capillaires lobulaires sans altération du parenchyme hépatique. (N° 720 531).

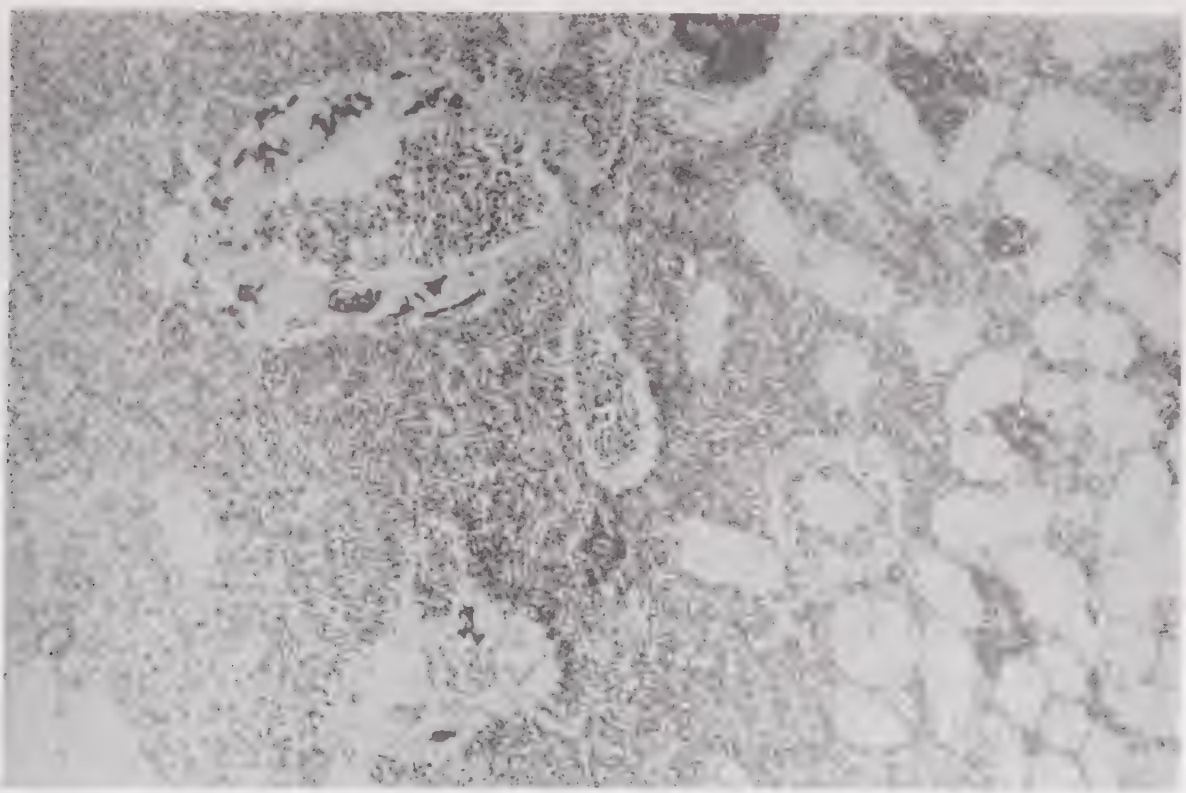


FIGURE 56 : Coupe de rein d'Anguille sacrifiée après un séjour de 1 heure à 101 ATA. Coloration H.E.S.. Grossissement : x 130.

Congestion des gros vaisseaux et des capillaires interstitiels. (N° 720 502).

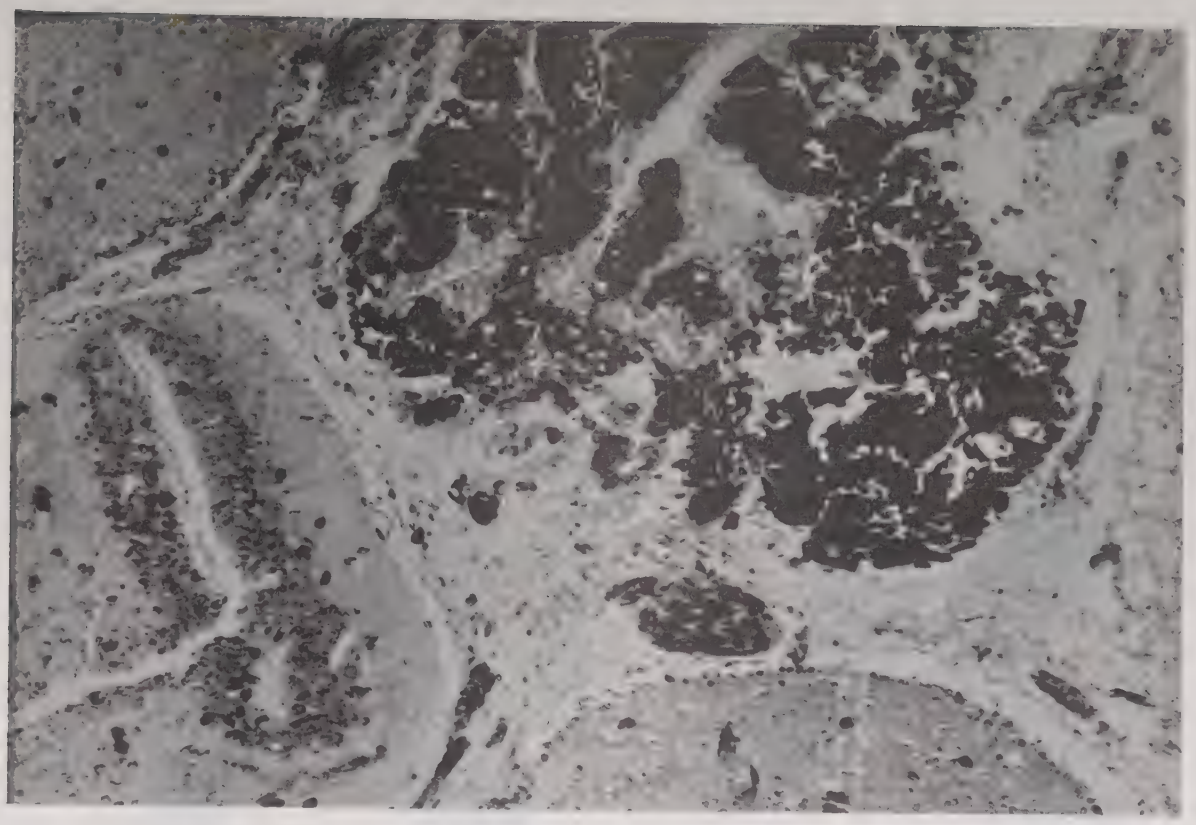


FIGURE 57 : Coupe d'encéphale d'Anguille sacrifiée après un séjour de 1 heure à 101 ATA. Coloration : hématoxyline de Mallory. Grossissement : x 130.
Congestion intense des vaisseaux méningés avec dilacération hémorragique, congestion des vaisseaux cérébraux. (N° 720 531).

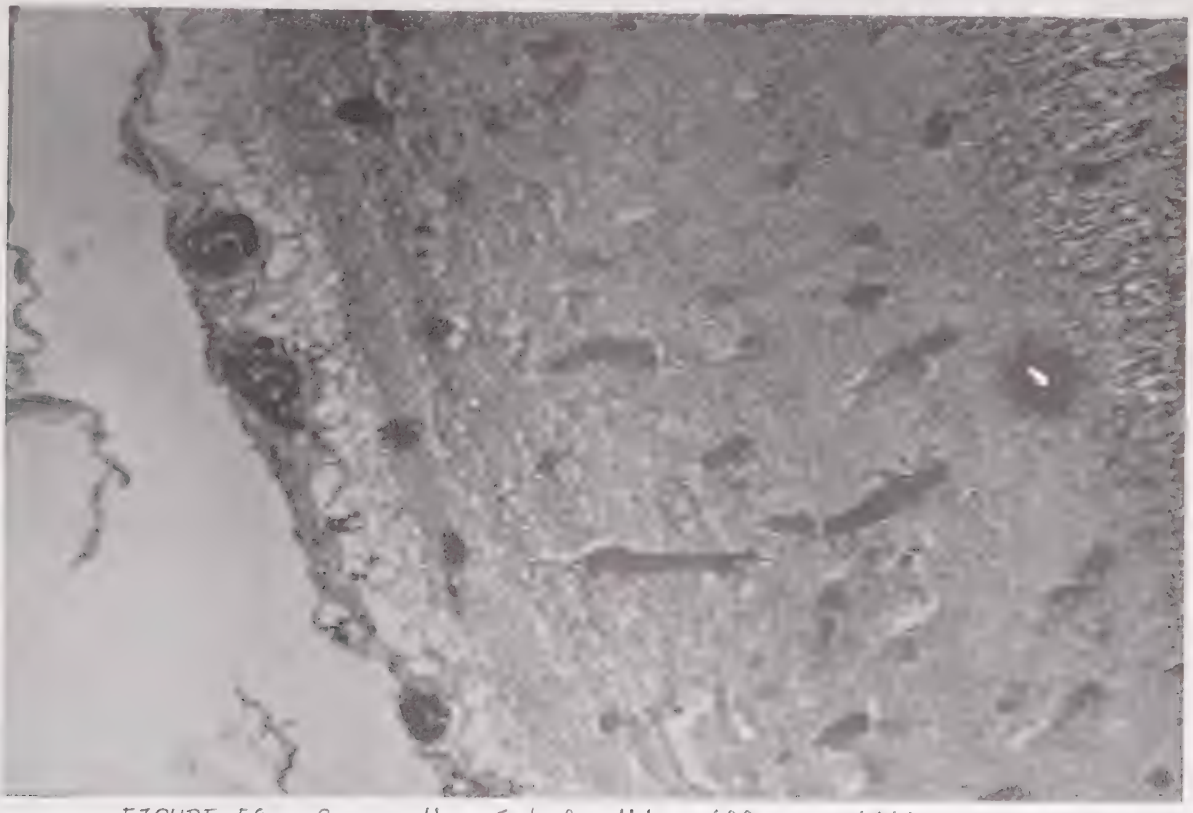


FIGURE 58 : Coupe d'encéphale d'Anguille sacrifiée après un séjour de 1 heure à 101 ATA. Coloration : hématoxyline de Mallory. Grossissement : x [illegible].
Dilatation et congestion des capillaires cérébraux. [illegible]
[illegible]. (N° 720 551).

FIGURE 59 : Comparaison du volume occupé par le coeur entre deux anguilles témoin (à gauche) et deux anguilles fixées sous pression (51 ATA) par immersion dans l'azote liquide (à droite).

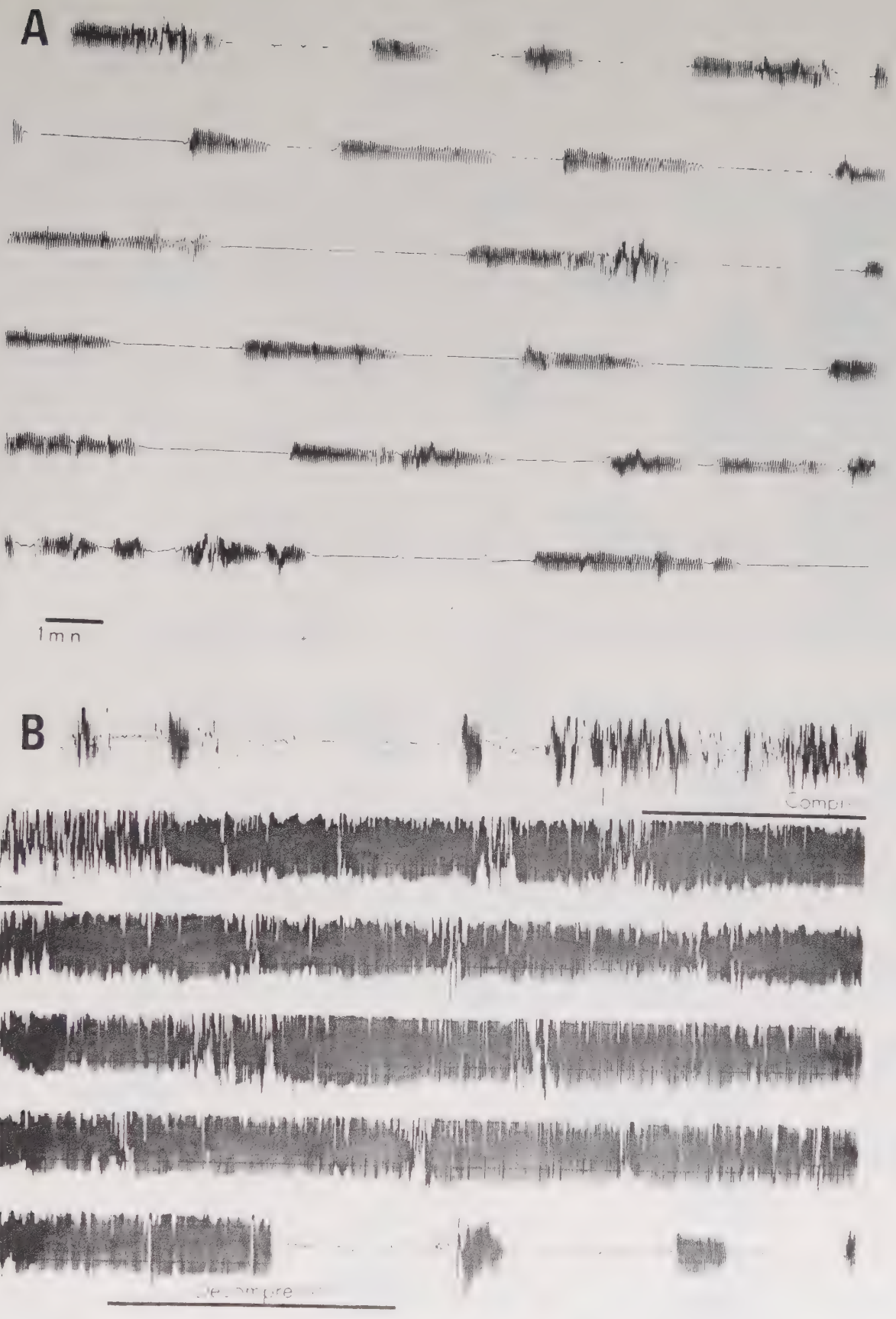


FIGURE 60 : Comparaison entre un tracé operculographique témoin (A : en confinement, normobare), et un tracé operculographique obtenu chez une anguille soumise à un séjour hyperbare à 101 ATA et dans les mêmes conditions de confinement (B). Effets de la pression "per se". Température initiale [illegible].

(A noter l'importante hyperventilation provoquée par la compression et l'irrégularité du tracé retour à la normale. Ce qui traduit un état de narcose du poisson).

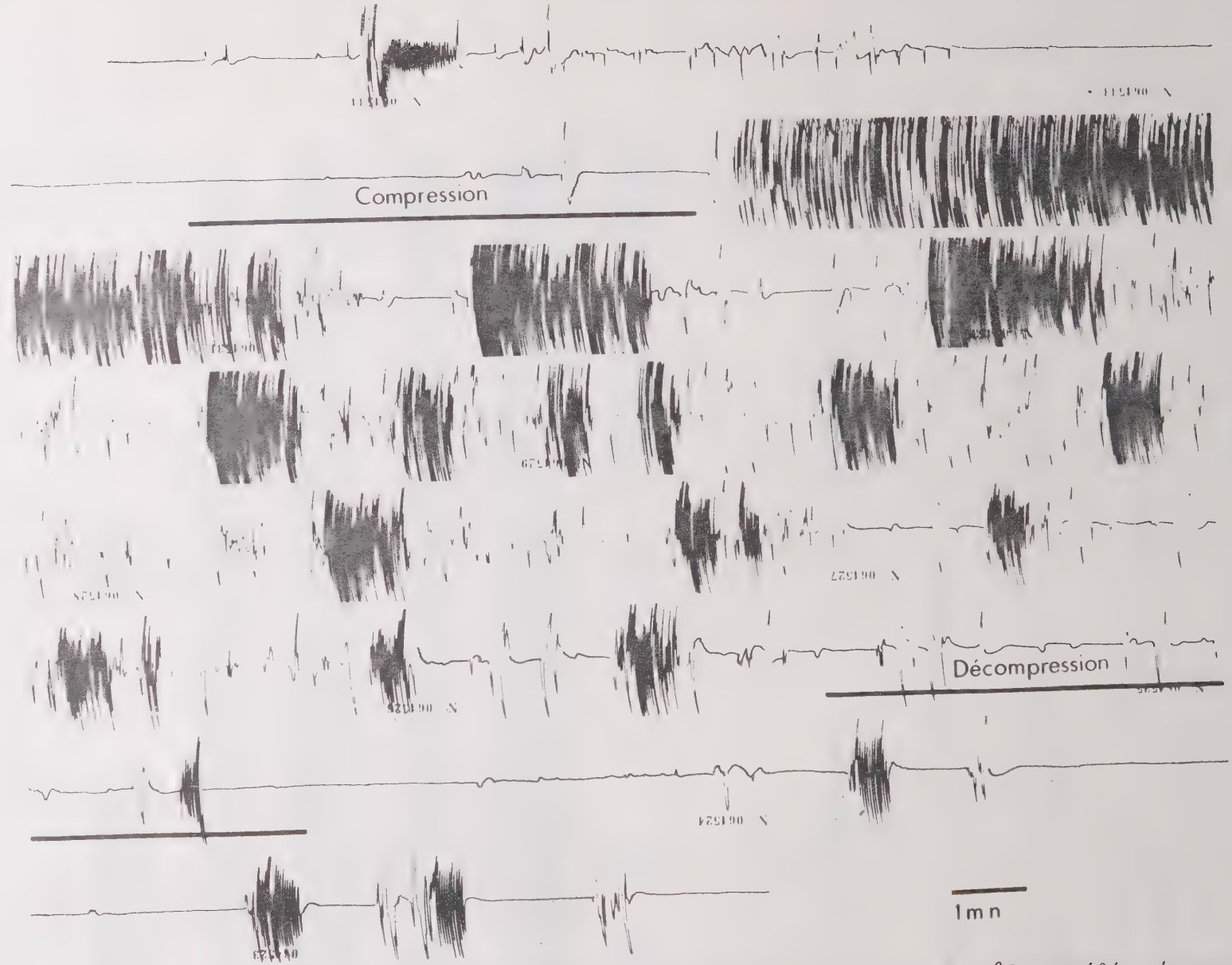


FIGURE 61 : *Enregistrement operculographique d'une anguille maintenue à 17°C en milieu hyperoxique, (initialement : Pw_{O_2} > 450 torr) et soumise à une compression à 101 ATA. Conditions de pression "per se". (Ces tracés indiquent une agitation du poisson et une hyperventilation, notamment en début de séjour hyperbare).*

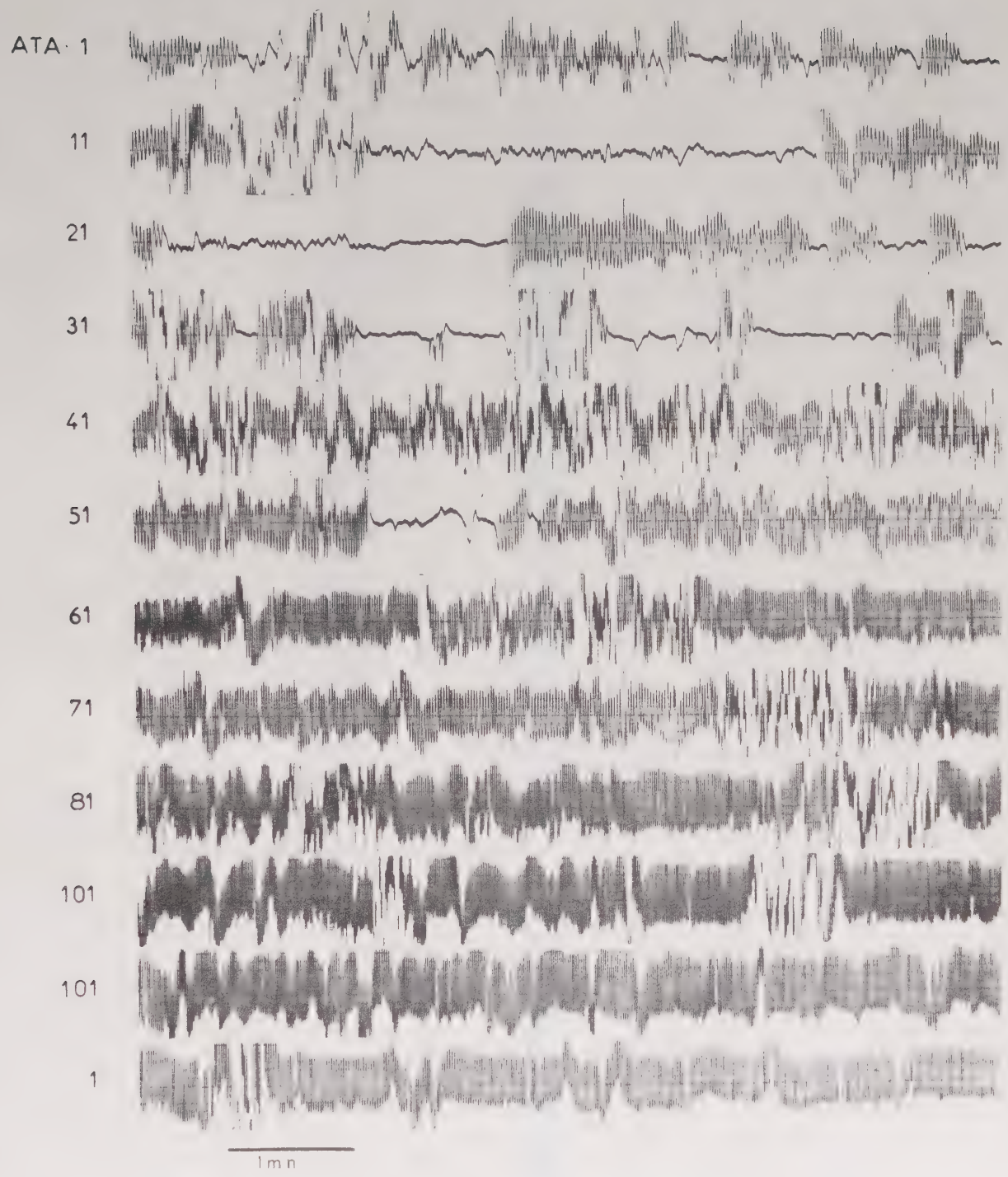


FIGURE 62 : *Enregistrements operculographiques d'Anguille effectués à diverses étapes d'une compression et d'un séjour à 101 ATA (pression "per se"). Température initiale : 17°C.*

La réaction hyperventilatoire apparaît à partir de 41 ATA.

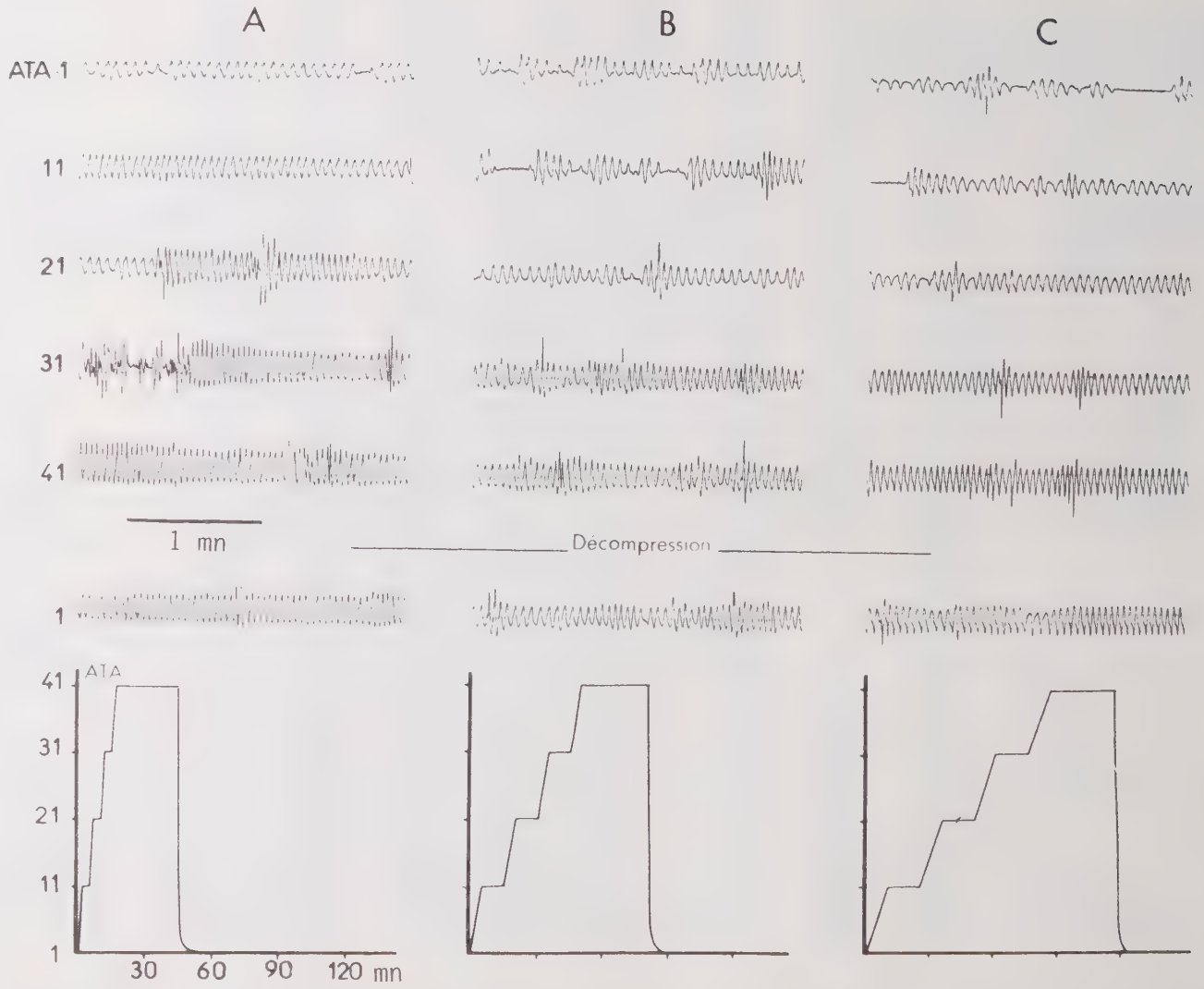


FIGURE 63 : Etude des tracés ventilatoires d'une anguille au cours des compressions effectuées selon le barogramme indiqué dans chaque colonne (pression "per se").

Apparition d'une hyperventilation à 21 ATA dans le cas d'une compression rapide (A) ; à 31 ATA pour les compressions plus lentes (B et C). (Chronologie des expériences : B, A, C).

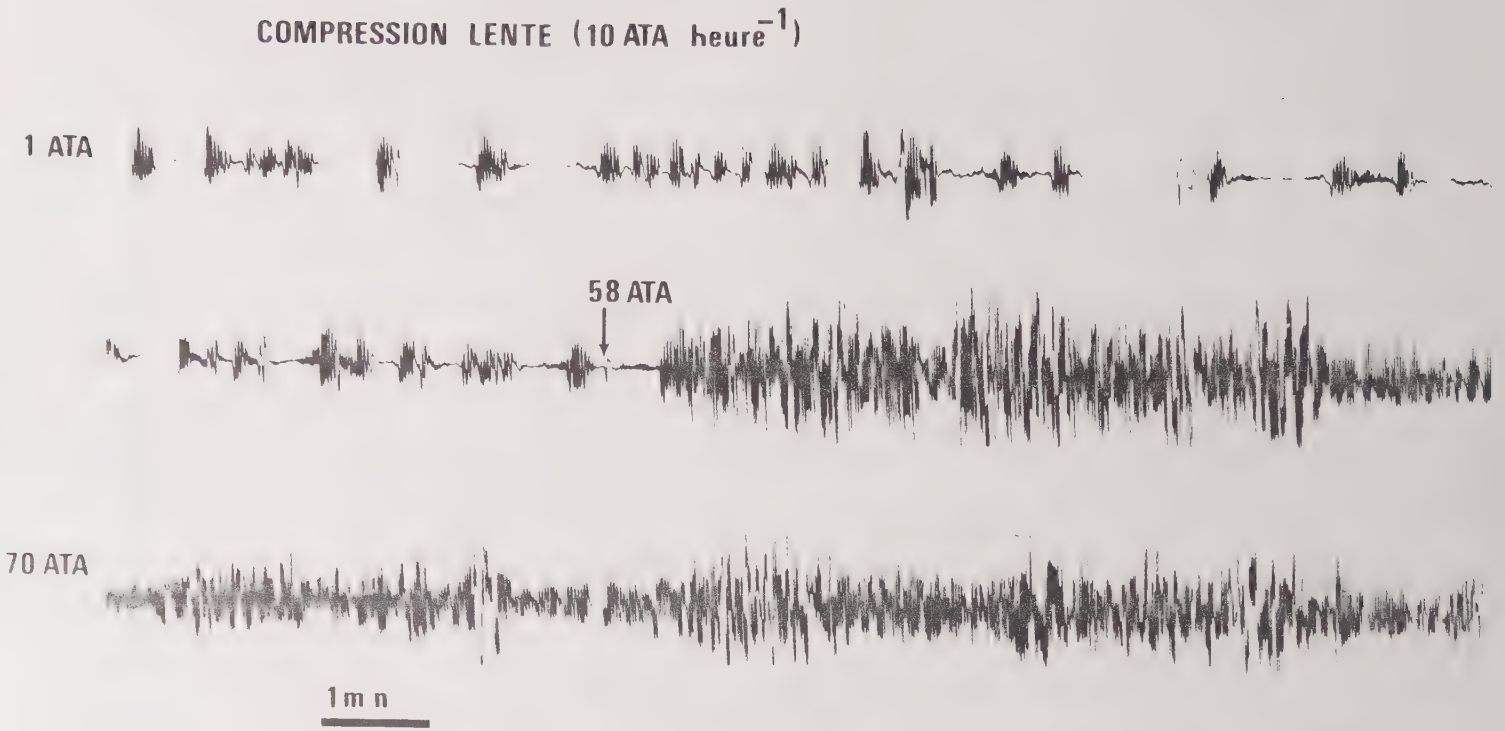


FIGURE 64 : Apparition d'une hyperventilation (avec agitation motrice) chez une anguille comprimée à la vitesse constante de 10 atm·heure^{-1} (pression "per se"). Température : 17°C.

Tracé supérieur : témoin (pression barométrique);

Tracé intermédiaire : apparition de la réaction à 58 ATA;

Tracé inférieur : maintien de l'effet pendant la suite de la compression.

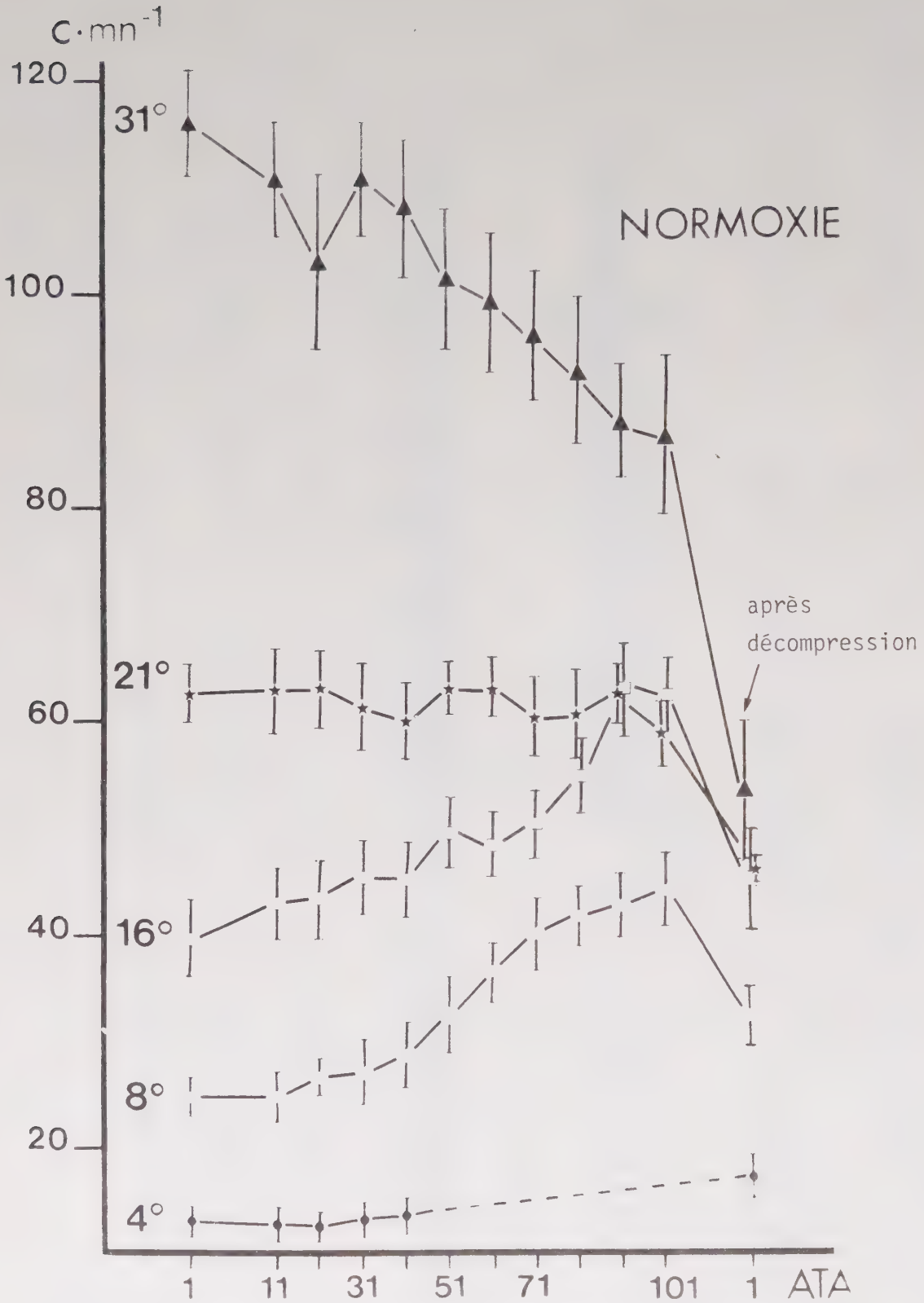


FIGURE 65 : Représentation graphique de l'évolution de la fréquence cardiaque (exprimée en $c \cdot mn^{-1}$) au cours d'un séjour hyperbare et en conditions initialement normoxiques. (Pression "per se"). Résultats de 5 séries d'expériences effectuées à 4, 8, 16, 21 et 31°C (températures initiales).

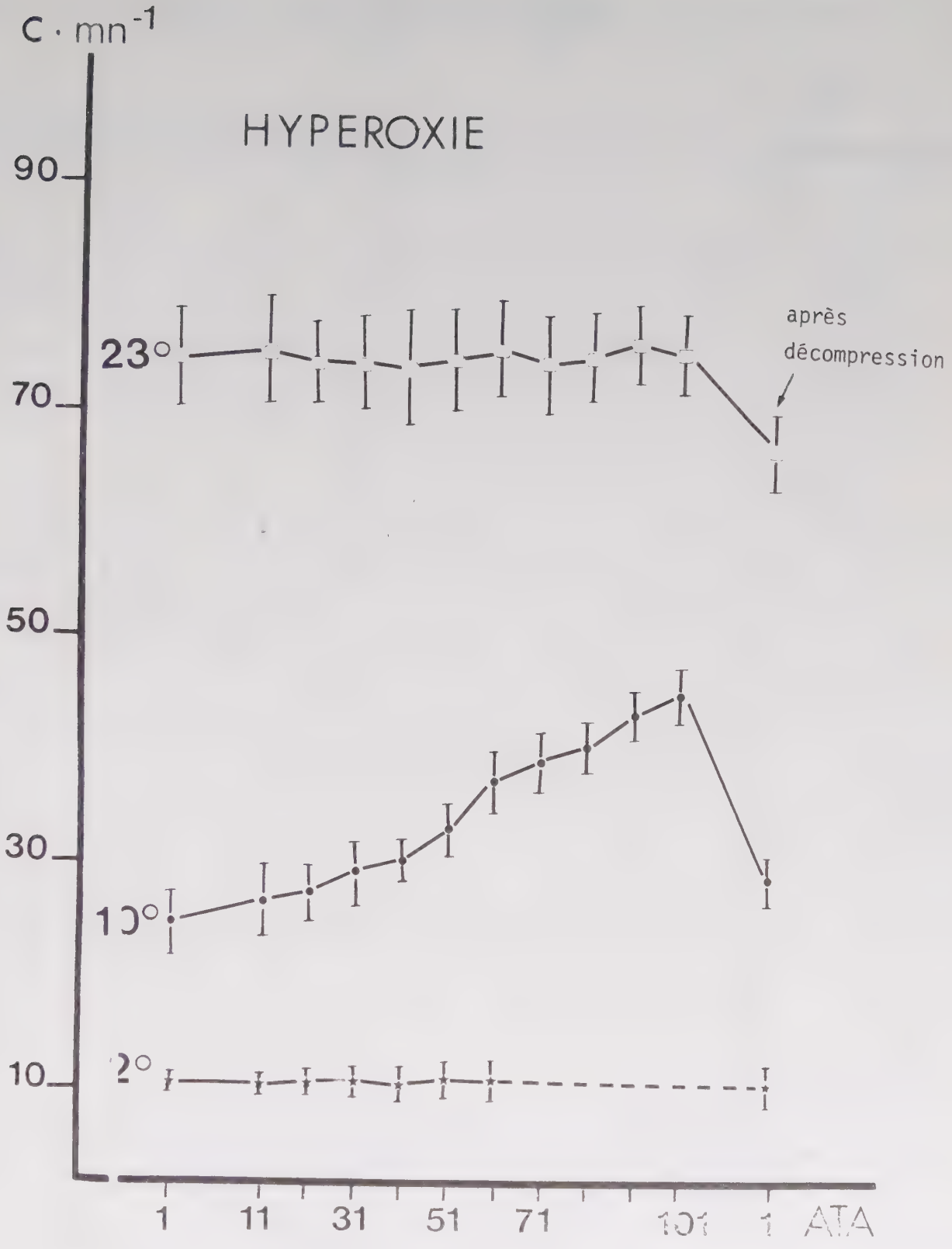


FIGURE 66 : Représentation graphique de l'évolution de la fréquence cardiaque (en $c \cdot mn^{-1}$) au cours d'un séjour hyperoxique (Pw_{O_2} > 450 torr au départ) Résultats de 3 séries d'expériences effectuées à 2, 10 et 23°C (températures initiales).

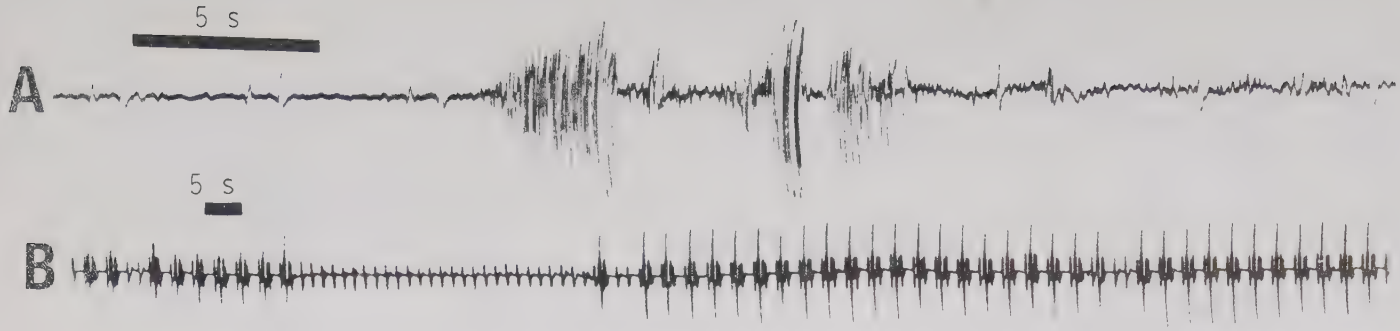


FIGURE 67 : A : exemple de tracé E.K.G. obtenu chez l'Anguille soumise aux effets de la pression et aux basses températures (< 4°C). Ces déflections amples et rapides en bouffées sont apparues, dans ce cas, à 41 ATA. B : bloc auriculo-ventriculaire observé dans un seul cas, chez une anguille comprimée après un double prétraitement à l'atropine et au propranolol. Les effets A et B sont réversibles après décompression.

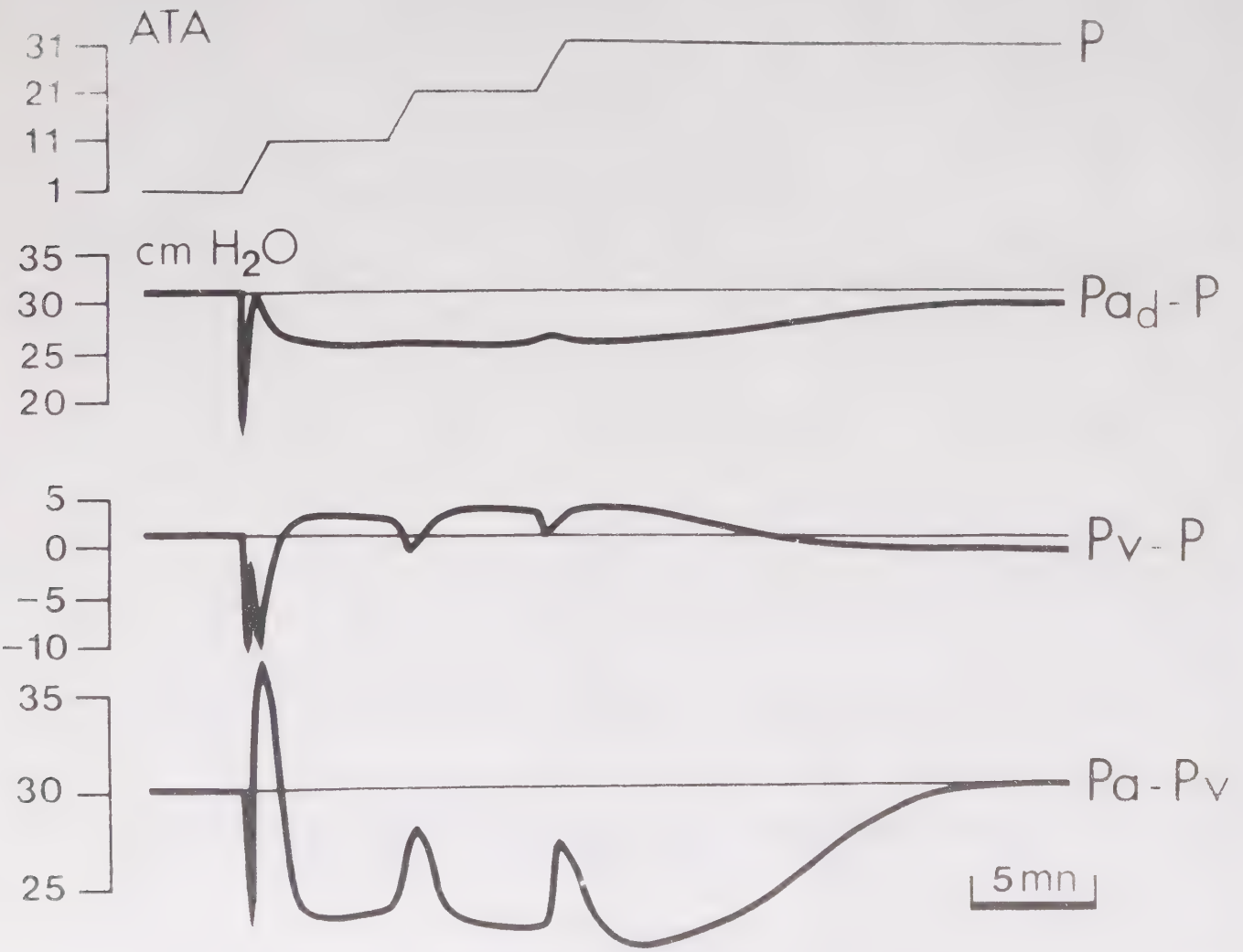


FIGURE 68 : Représentation schématique de l'évolution de la pression artérielle dorsale (Pa_d - P), de la pression veineuse (P_v - P) et de la pression artério-veineuse (Pa - P_v) au cours d'une compression à 31 ATA : stabilisation des pressions pendant le séjour à la pression d'épreuve. Effets de la pression "P" désigne la pression dans l'enceinte hyperbare.

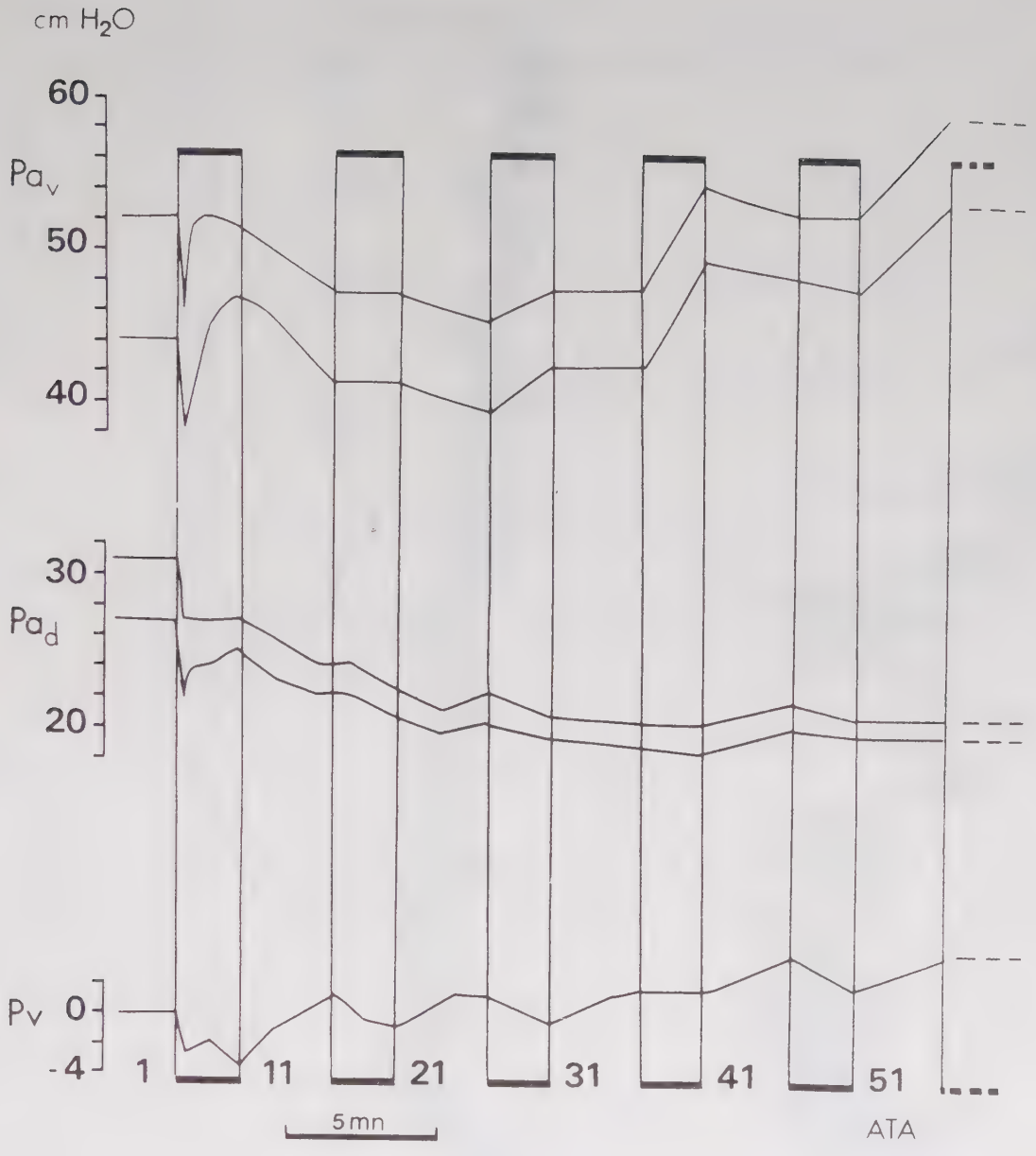


FIGURE 69 : Représentation schématique de l'évolution de la pression aortique ventrale (Pa_v), de la pression aortique dorsale (Pa_d) et de la pression veineuse (P_v) chez l'Anguille comprimée en conditions de pression "per se" (vitesse de compression 5 $atm \cdot mn^{-1}$, avec des paliers de 3 minutes toutes les 10 atm).

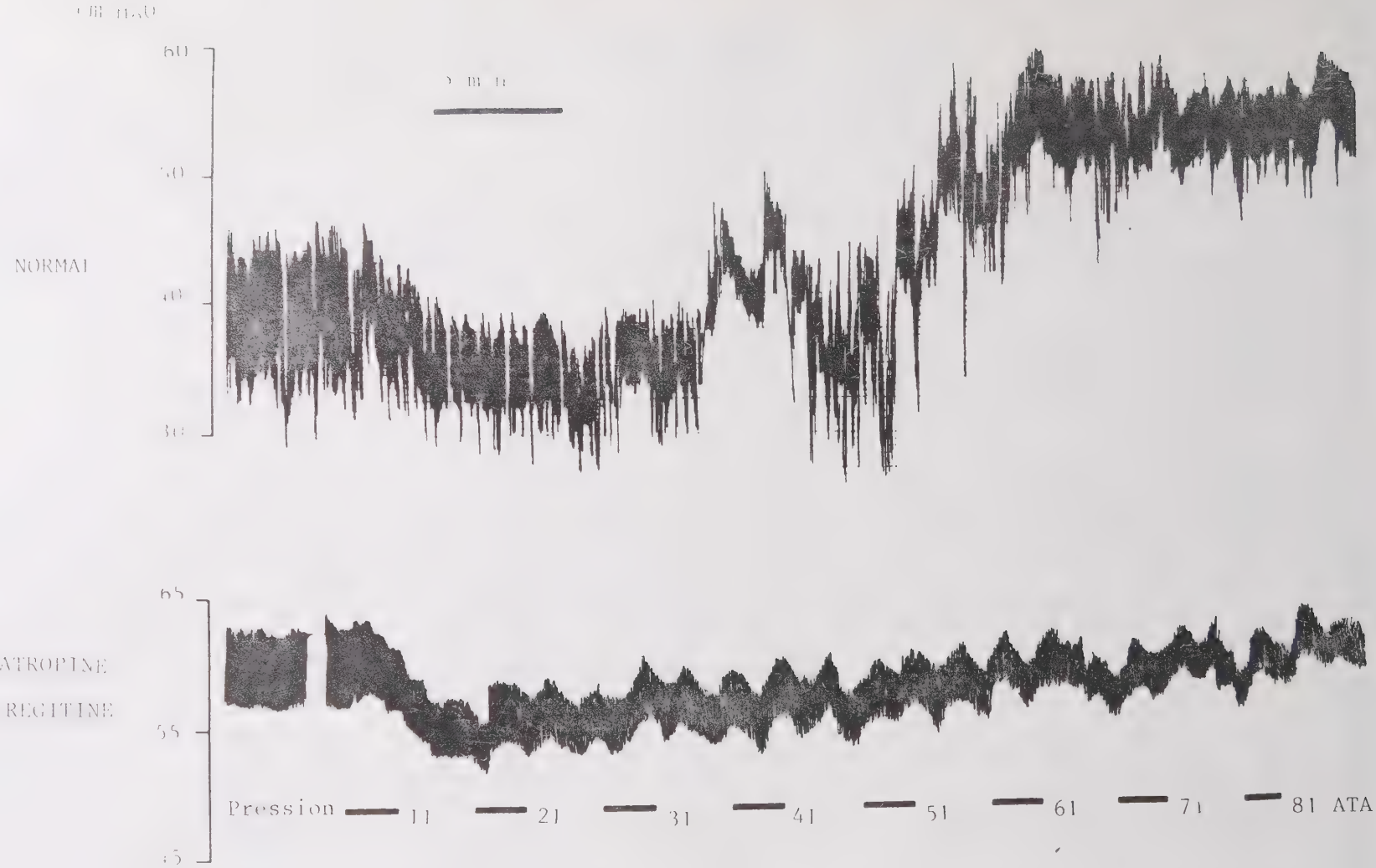


FIGURE 70 : Enregistrements de la pression aortique ventrale au cours d'une compression à la vitesse de 5 atm·mn^{-1}, avec des paliers de 3 mn toutes les 10 atm (effets de la pression "per se").
Température initiale : 17°C.
Tracé supérieur : anguille non traitée ;
Tracé inférieur : même anguille traitée à l'atropine et à la régitine (10 mg·kg^{-1} pour chaque substance et par voie intrapéritonéale).
(L'accroissement de Pa_V, observé au dessus de la pression de 41 ATA, est abolie par le prétraitement).

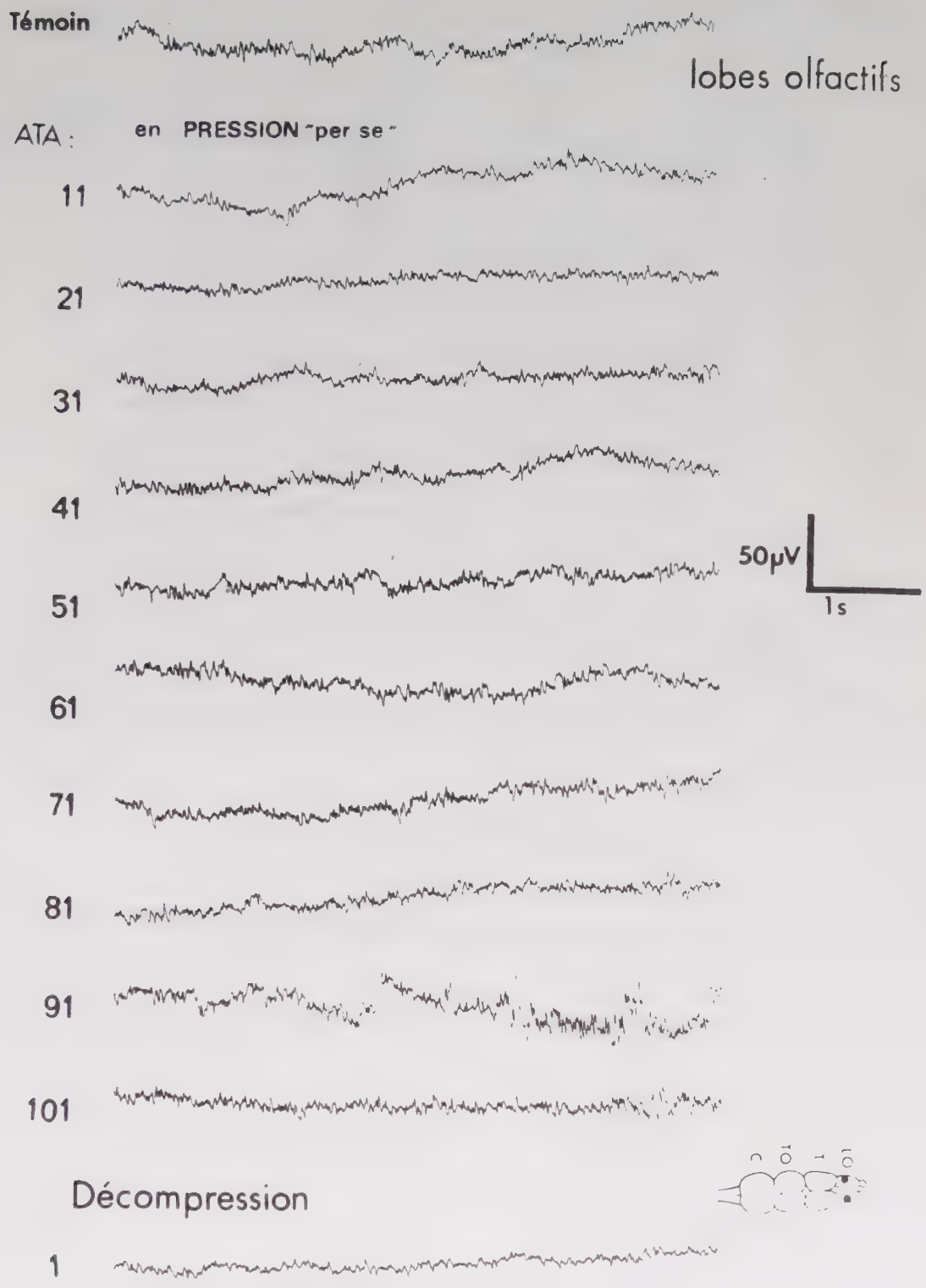


FIGURE 71 : Activité électrique des lobes olfactifs d'Anguille, enregistrée à diverses étapes d'un séjour hyperbare et en conditions initialement de référence. Effets de la pression "per se". (Commentaires dans le texte).

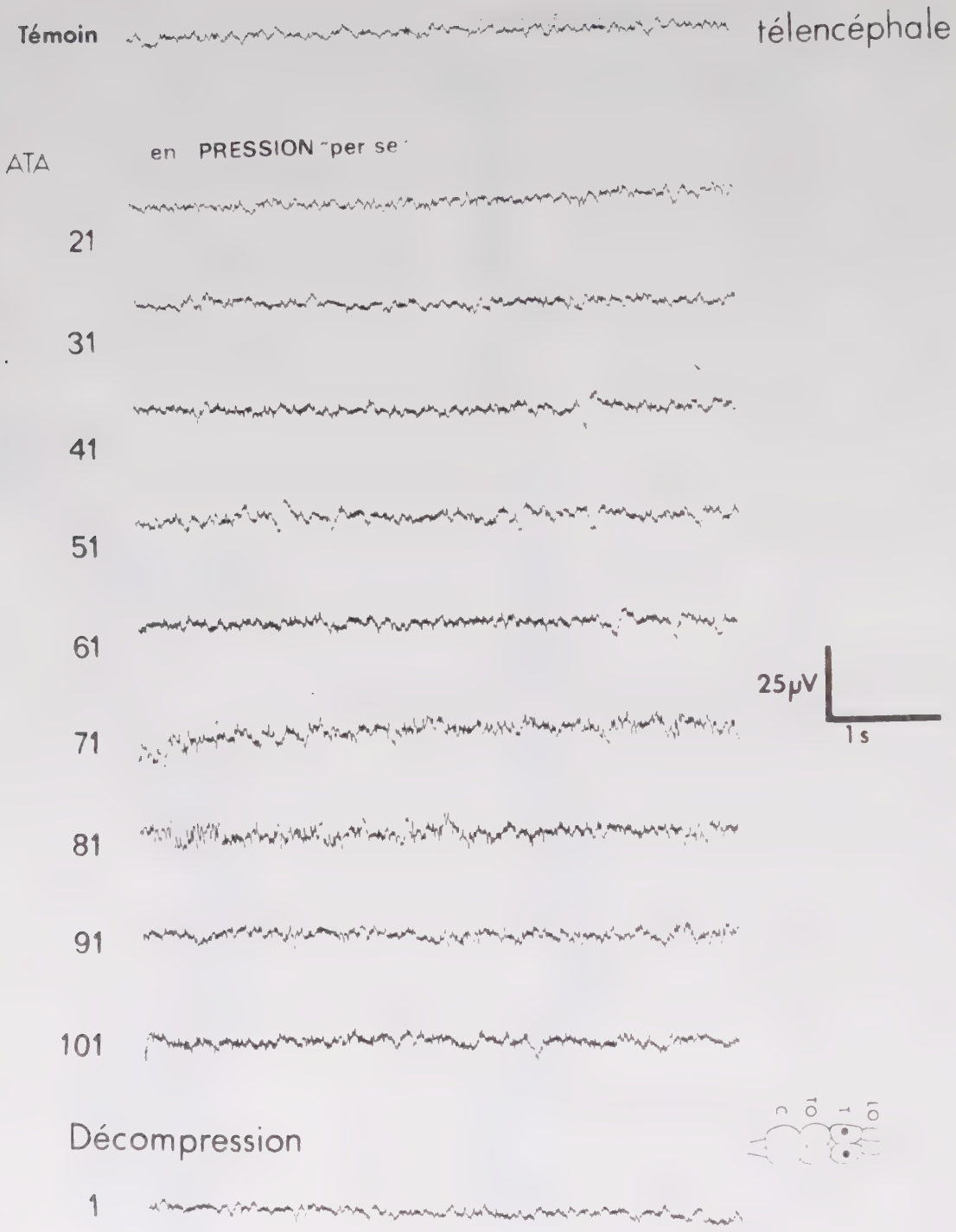


FIGURE 72 : Activité électrique du télencéphale d'Anguille, enregistrée à diverses étapes d'un séjour hyperbare et en conditions initialement de référence. Effets de la pression "per se". (Commentaires dans le texte).

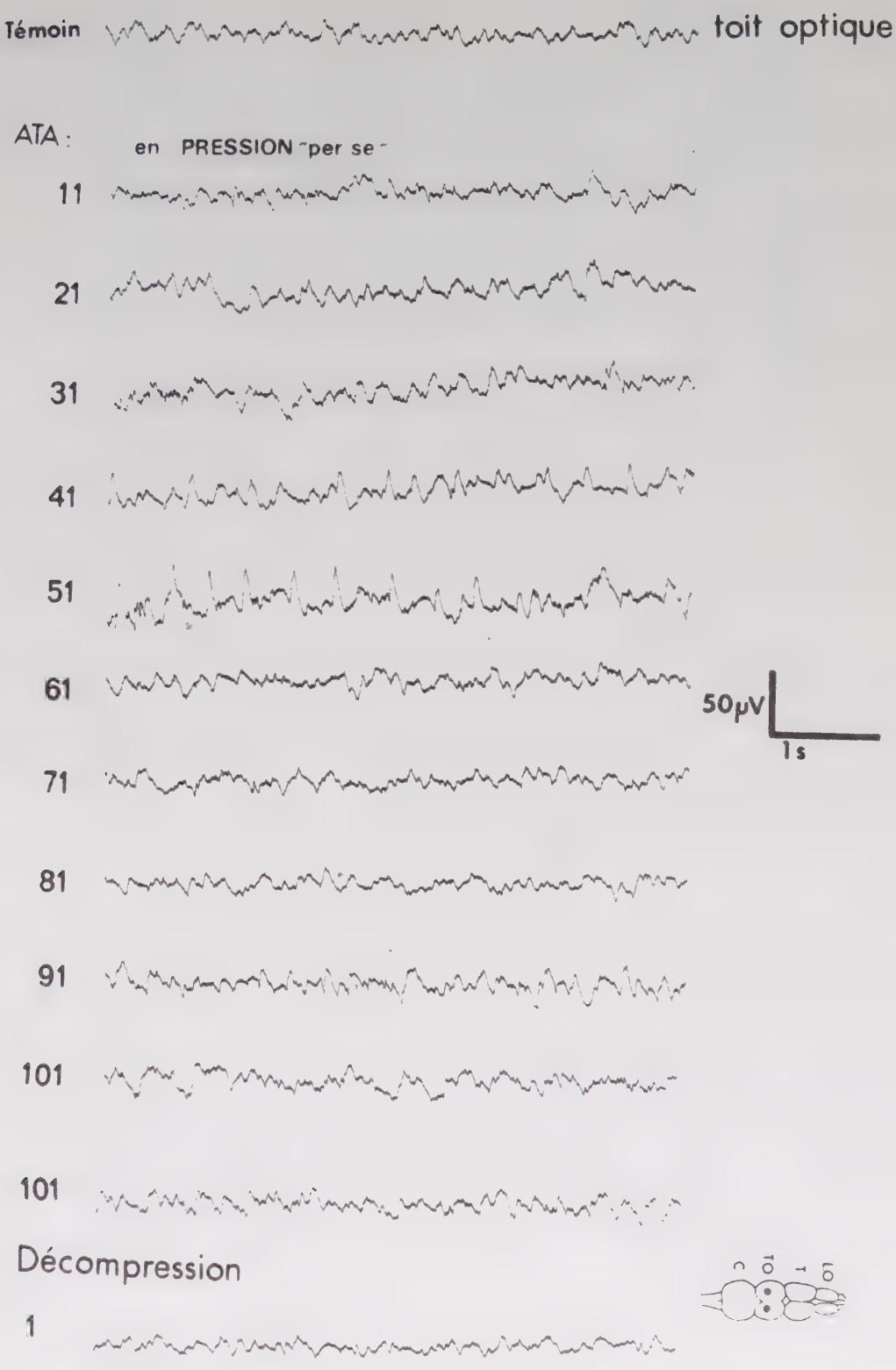


FIGURE 73 : Activité électrique du toit optique d'Anguille, enregistrée à diverses étapes d'un séjour hyperbare. Effets de la pression "per se". (Deux enregistrements ont été effectués à 101 ATA : l'un en début, l'autre en fin du séjour de durée 15 minutes). (Commentaires dans le texte).

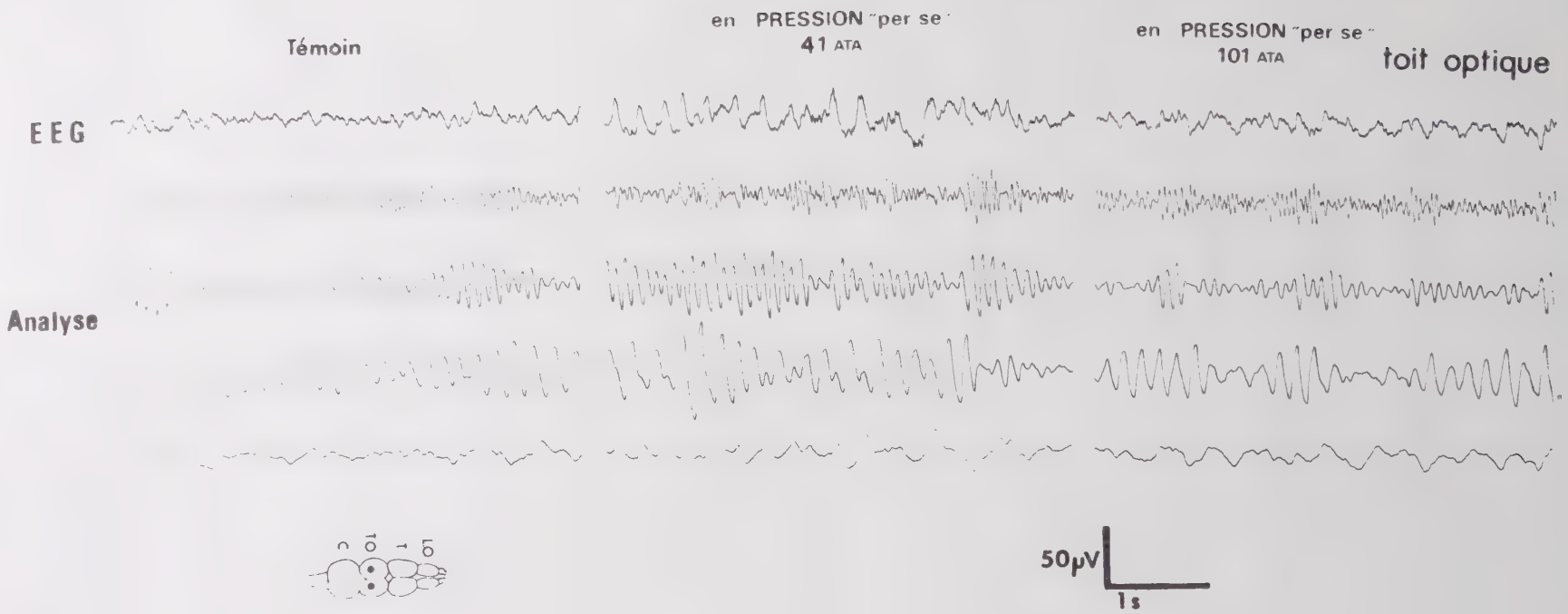


FIGURE 74 : *Enregistrements électroencéphalographiques du toit optique d'Anguille (tracés supérieurs indiqués : E.E.G.) en conditions normobares de référence (témoin) et en conditions hyperbares (41 et 101 ATA). Au-dessous : analyse des fréquences. (De haut en bas, apparaissent les bandes de fréquence 14-30 Hz, 8-12 Hz, 4-7 Hz et 0,5-3 Hz).*

(Confirmation de la présence d'ondes lentes à 6 $c \cdot s^{-1}$ environ, au palier à 41 ATA).

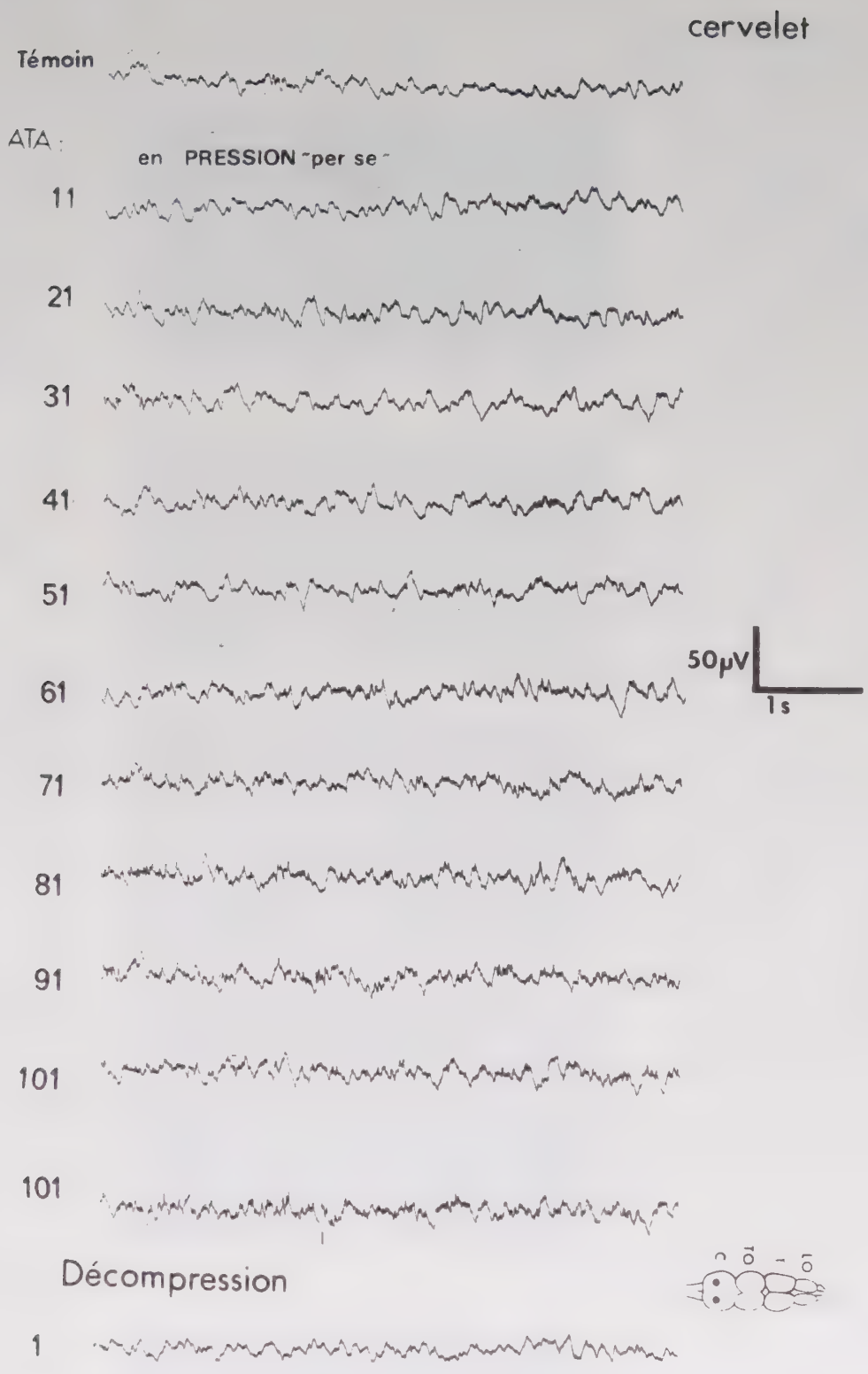


FIGURE 75 : Activité électrique du cervelet d'Anguille, enregistrée à diverses étapes d'un séjour hyperbare et en conditions initialement de référence. Effets de la pression "per se". (Deux enregistrements ont été effectués à 101 ATA : l'un en début, l'autre en fin de séjour de durée 15 minutes). (Commentaires dans le texte).

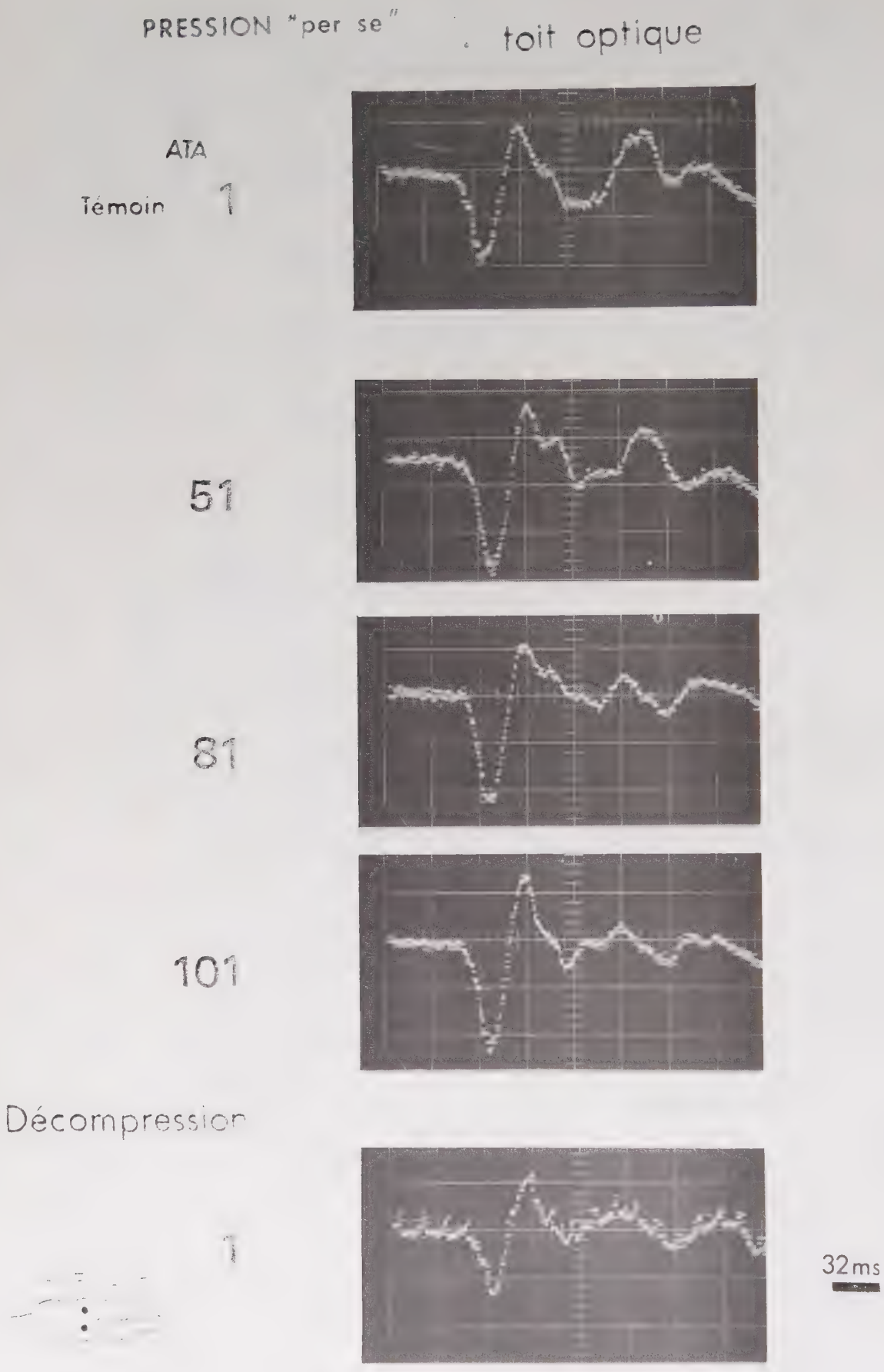


FIGURE 76 : Potentiels évoqués visuels moyennés obtenus à diverses étapes d'un séjour hyperbare à partir d'électrodes mises en place au-dessus du toit optique. Température : 17°C ; conditions initialement de référence.

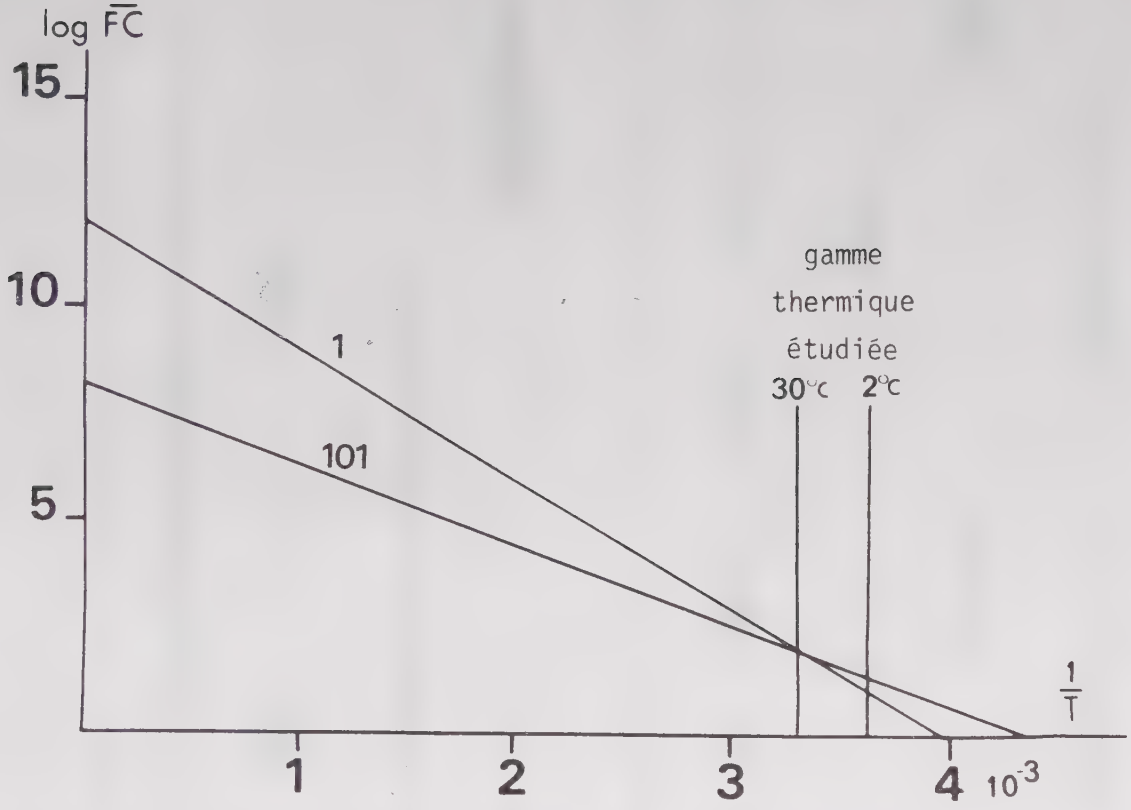


FIGURE 77 : Relations entre la fréquence cardiaque moyenne ($\overline{FC}$) et l'inverse de la température absolue ($\frac{1}{T}$) calculées pour les pressions de 1 et 101 ATA.

(Les changements de pente et d'ordonnée à l'origine sont interprétés dans le texte).

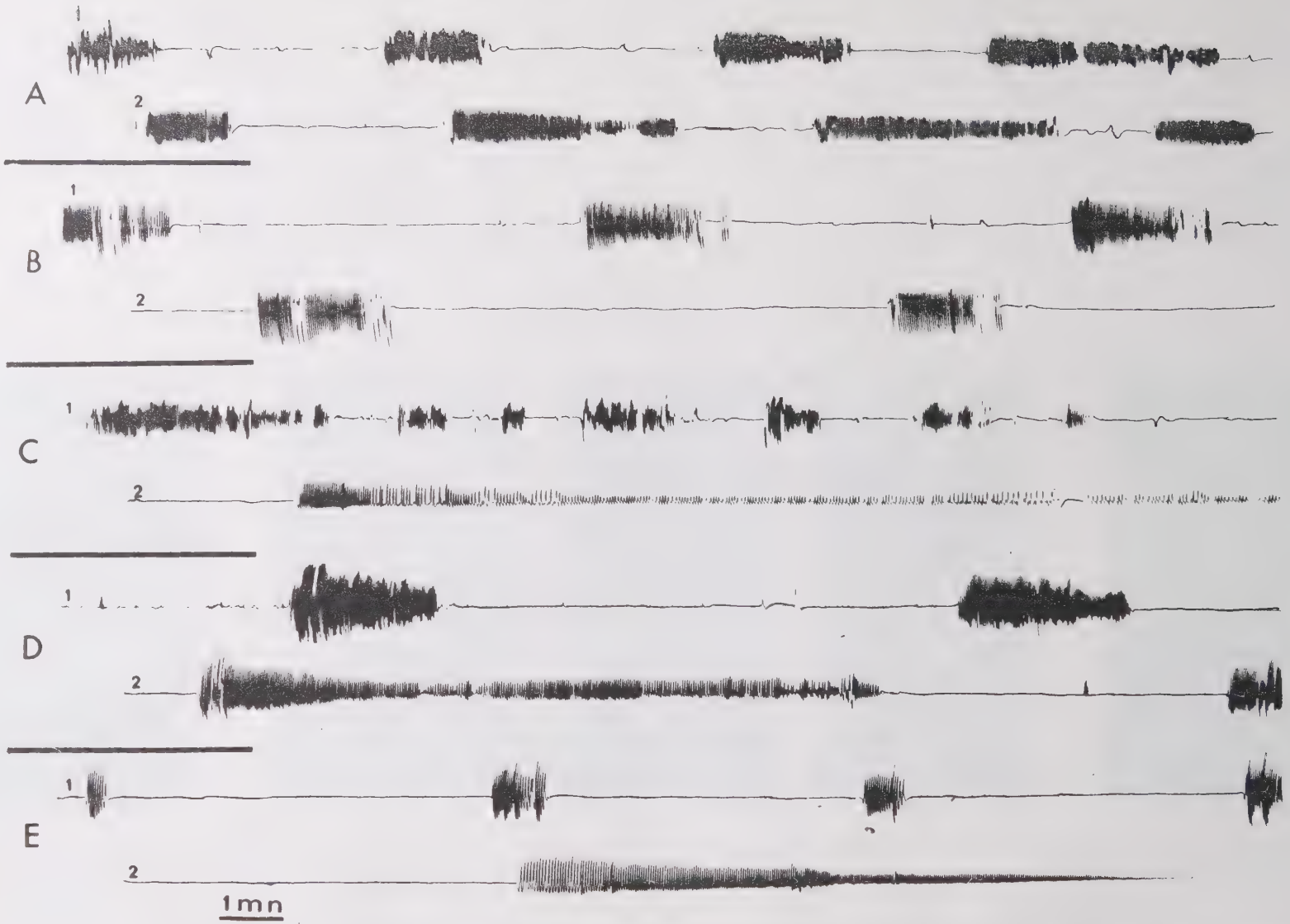


FIGURE 78 : Enregistrements operculographiques d'anguilles en conditions initialement de référence.

A : 1 - Témoin ; 2 - Après 4 heures à 21 ATA avec saturation de l'eau par le mélange O_2 : He (1% : 99%).
B : 1 - Témoin ; 2 - Après 4 heures à 11 ATA avec saturation de l'eau par le mélange O_2 : N_2 (2% : 98%).
C : 1 - Témoin ; 2 - Après 4 heures à 21 ATA avec saturation de l'eau par le mélange O_2 : N_2 (1% : 99%).
D : 1 - Témoin ; 2 - Après 4 heures à 11 ATA avec saturation de l'eau par le mélange O_2 : Ar (2% : 98%).
E : 1 - Témoin ; 2 - Après 4 heures à 21 ATA avec saturation de l'eau par le mélange O_2 : Ar (1% : 99%).

(Commentaires dans le texte).

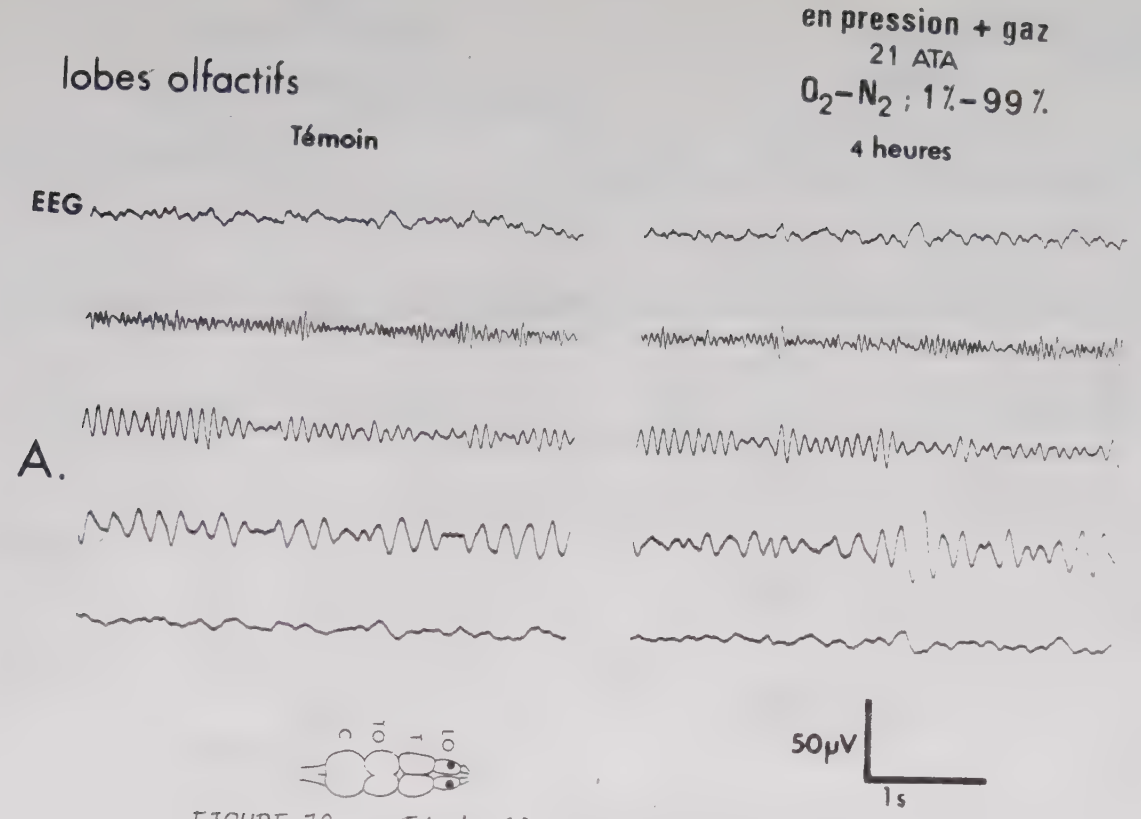


FIGURE 79 : Etude électroencéphalographique des lobes olfactifs d'une anguille maintenue à 17°C : effets de la pression (21 ATA) associée à l'augmentation de la masse de gaz dissous (mélange 1% O_2 - 99% N_2). E.E.G. : tracé électroencéphalographique ; A : analyse des fréquences.

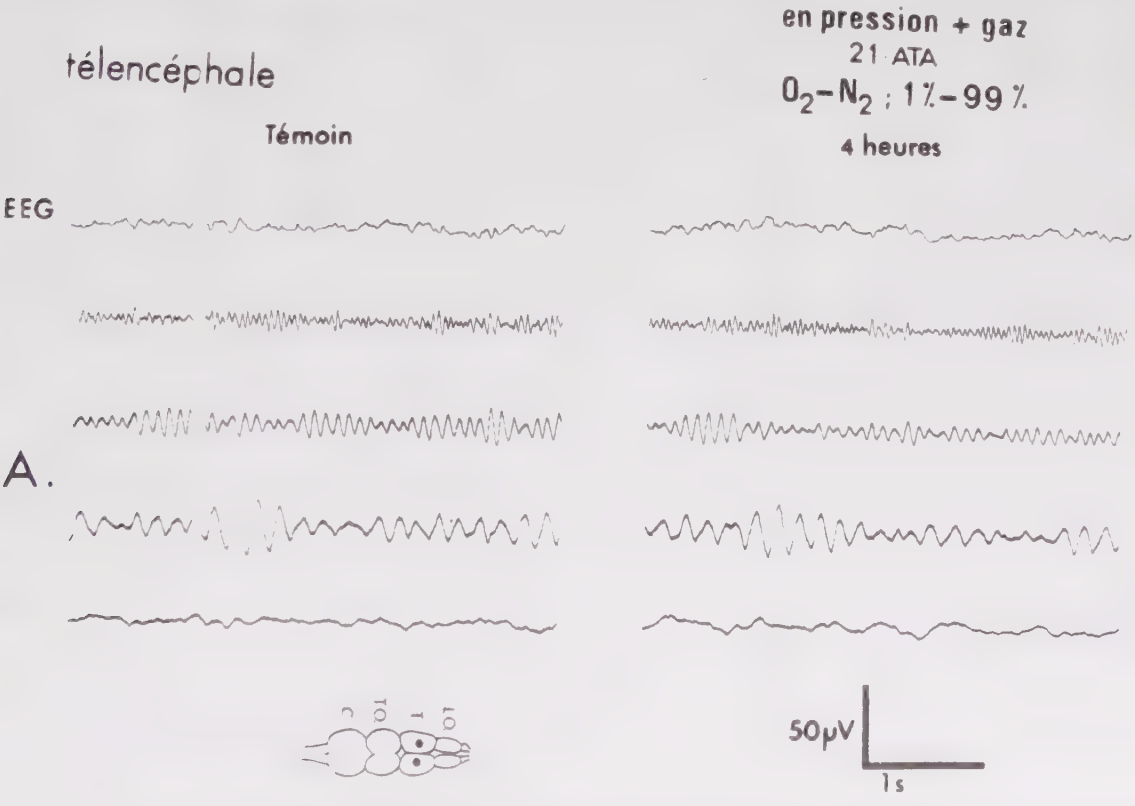


FIGURE 80 : Etude électroencéphalographique du télencéphale d'une anguille maintenue à 17°C : effets de la pression (21 ATA) associée à l'augmentation de la masse de gaz dissous (mélange : 1% O_2 - 99% N_2). E.E.G. : tracé électroencéphalographique ; A : analyse des fréquences. (Absence d'effet caractéristique).

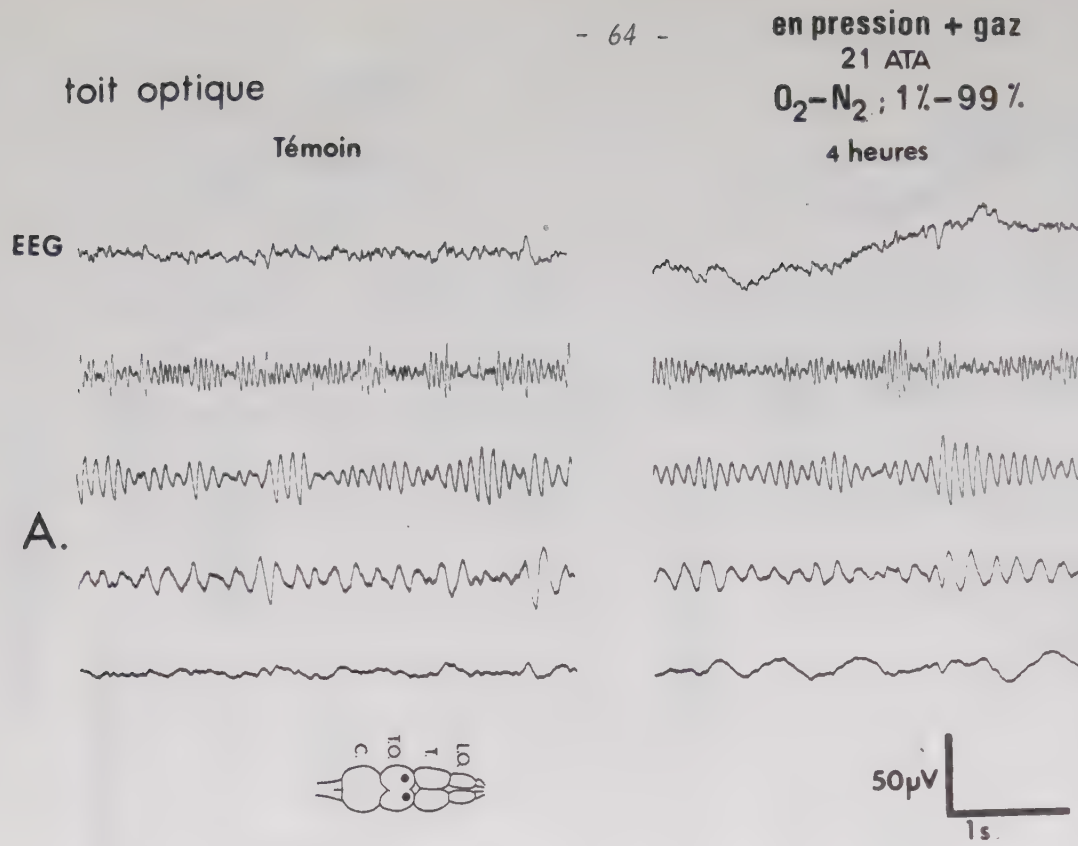


FIGURE 81 : Etude électroencéphalographique du toit optique d'une anguille maintenue à 17°C : effets de la pression (21 ATA) associée à l'augmentation de la masse de gaz dissous (mélange : 1% O_2 - 99% N_2). E.E.G. : tracé électro-encéphalographique ; A : analyse des fréquences. (Absence d'effet caractéristique).

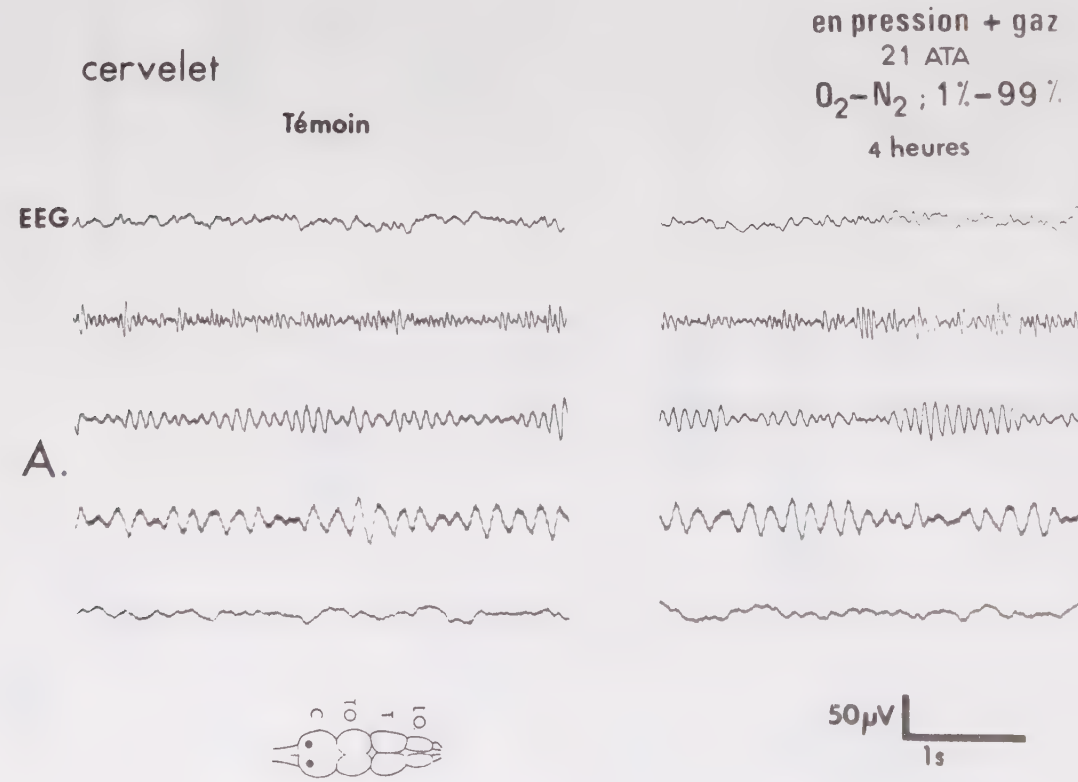


FIGURE 82 : Etude électroencéphalographique du cervelet d'une anguille maintenue à 17°C : effets de la pression (21 ATA) associée à l'augmentation de la masse de gaz dissous (mélange : 1% O_2 - 99% N_2). E.E.G. : tracé électro-encéphalographique ; A : analyse des fréquences. (Absence d'effet caractéristique).

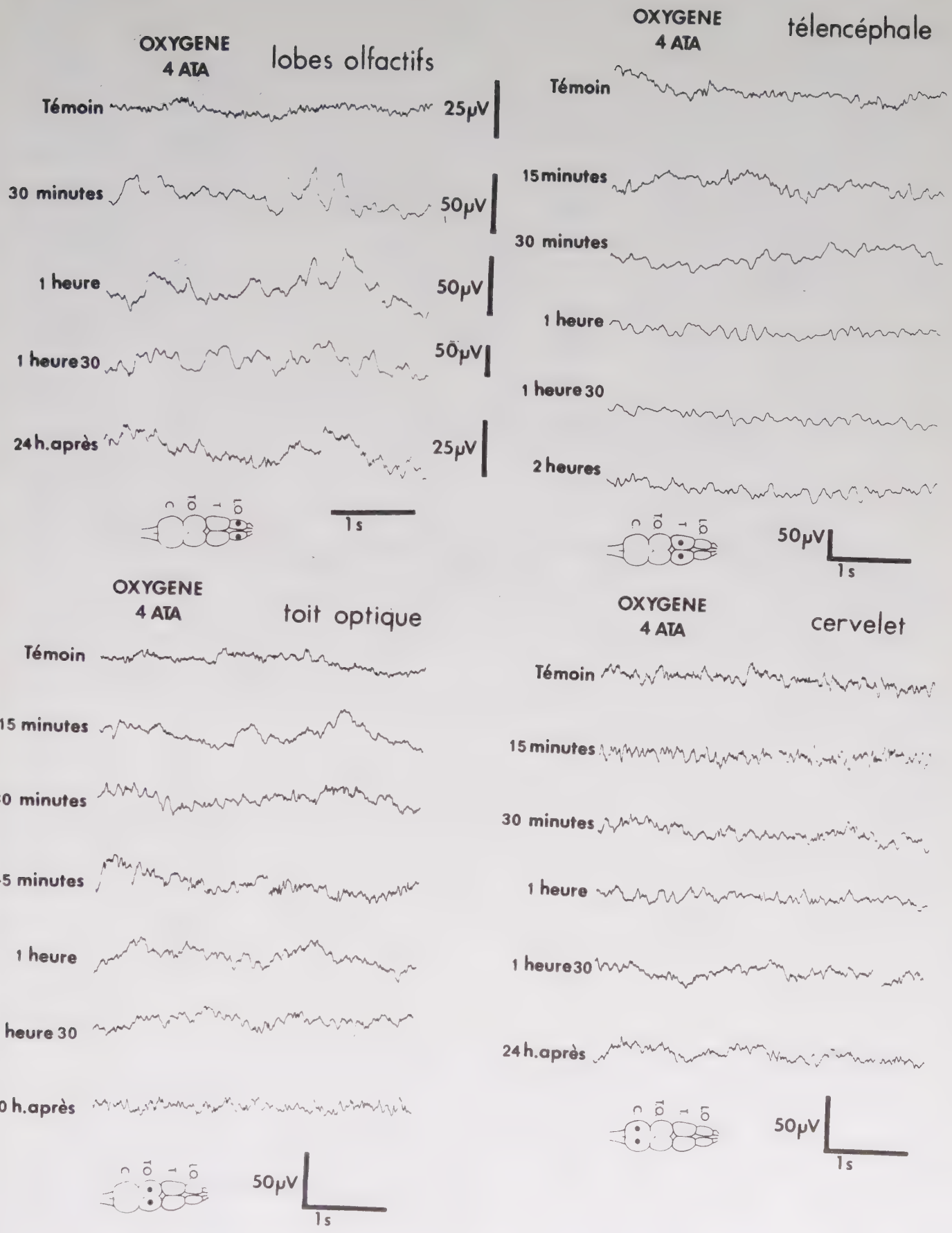


FIGURE 83 : Actions de l'oxygène hyperbare (4 ATA) sur l'activité électrique des vésicules encéphaliques désignées. Température : 17°C.

Apparition d'ondes lentes, en particulier aux niveaux des lobes olfactifs et du télencéphale.

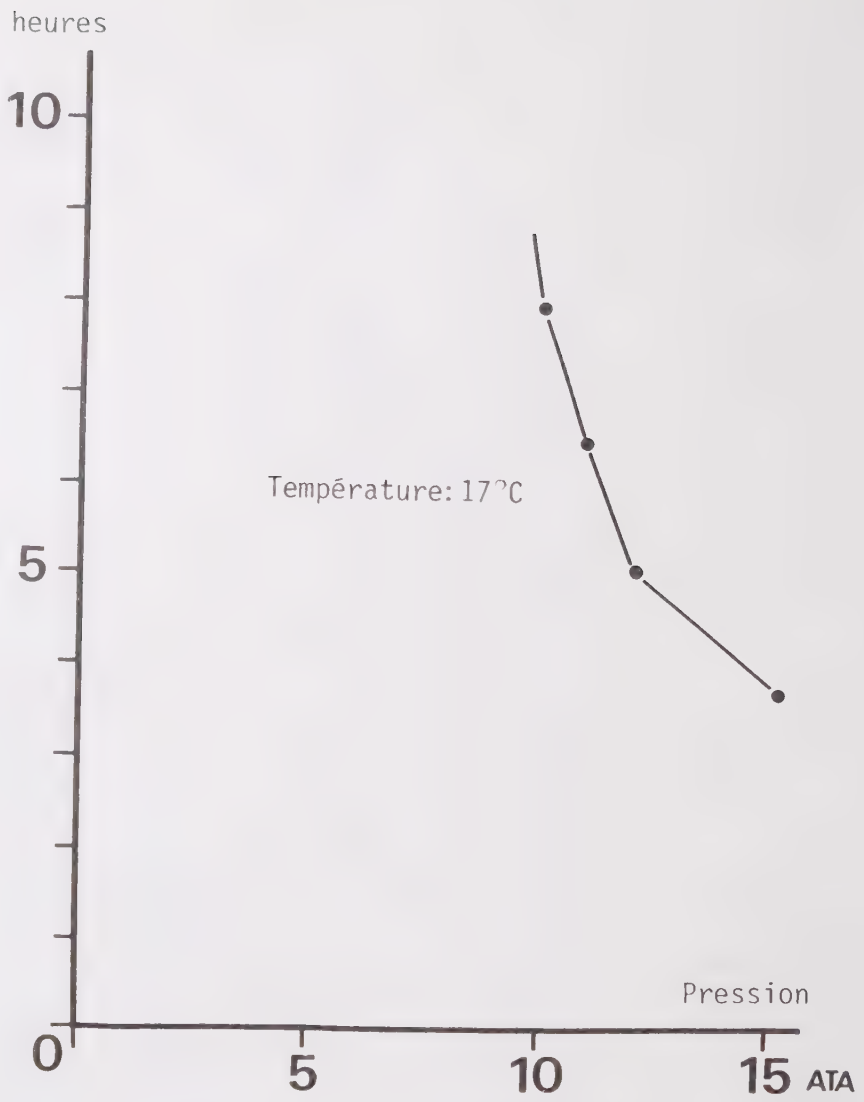


FIGURE 84 : Représentation graphique du temps de survie de l'Anguille, en fonction de la pression d'oxygène hyperbare (Température : 17°C).

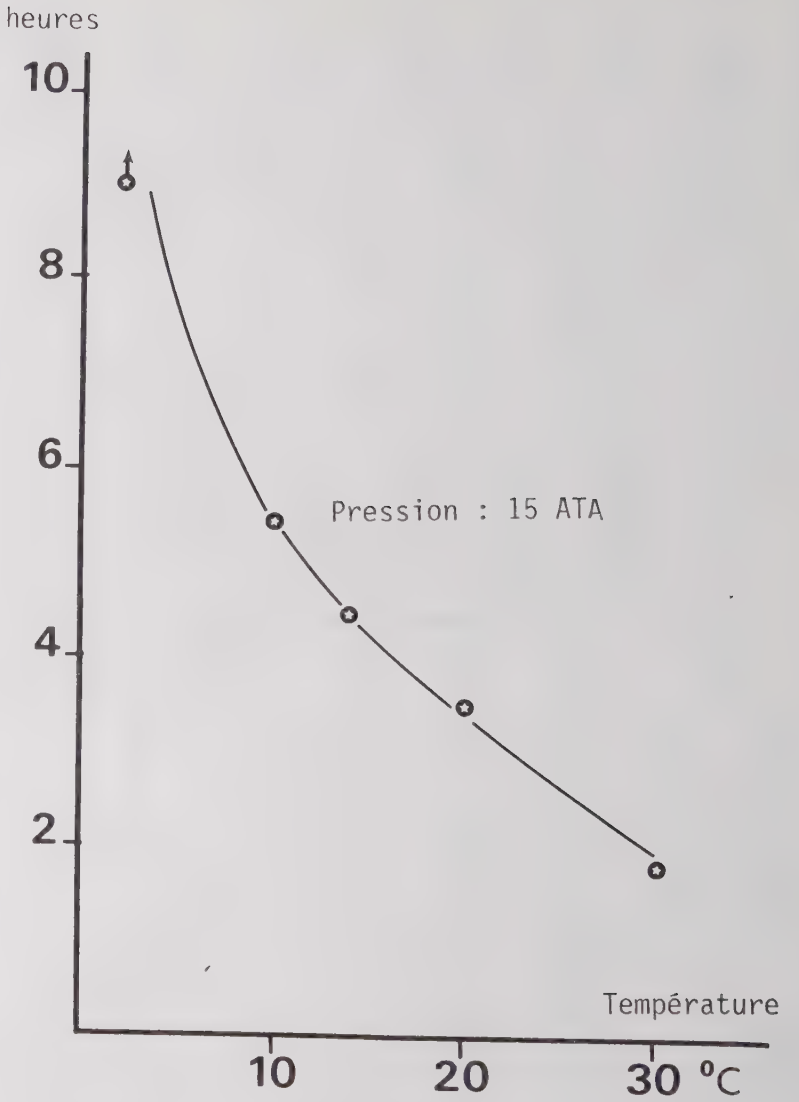


Figure 85 : Durée de survie de l'Anguille exposée à 15 ATA d'oxygène hyperbare, en fonction de la température d'expérience.

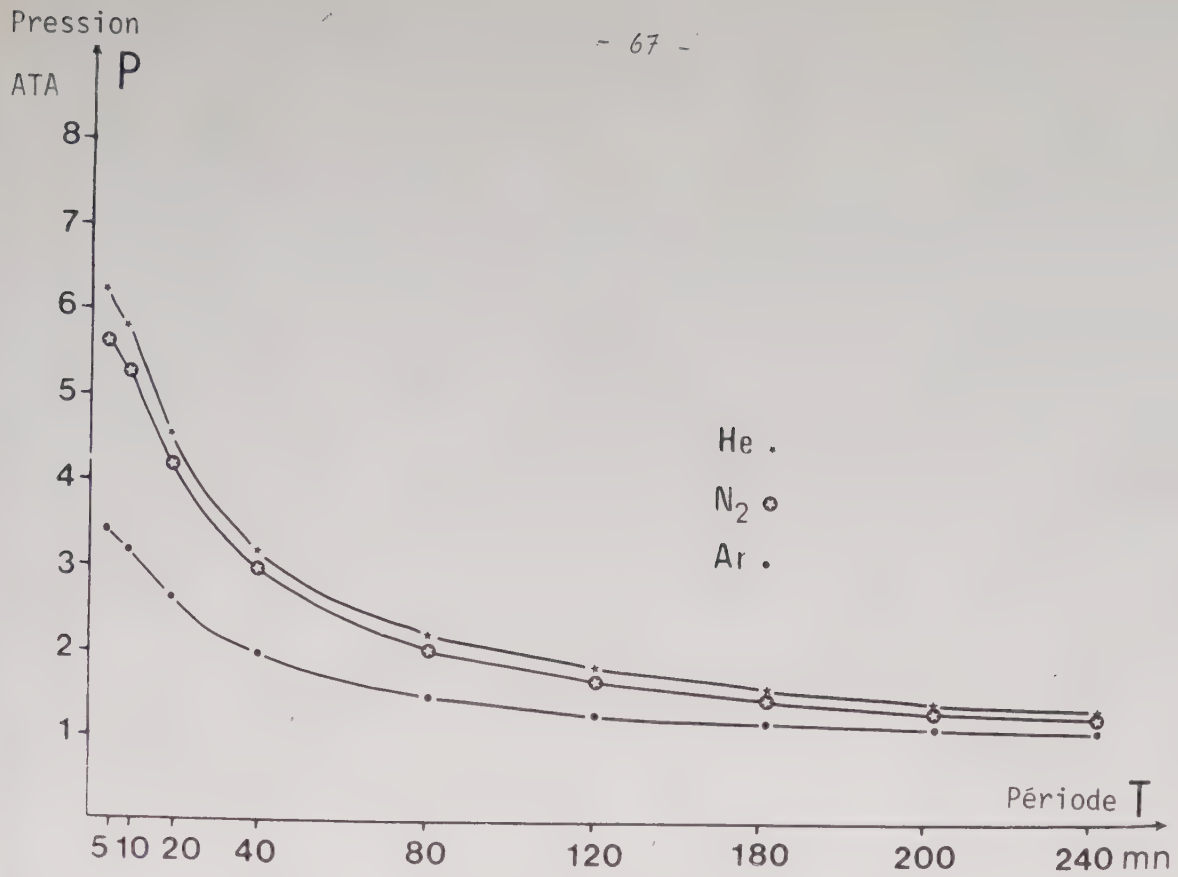


FIGURE 86 : Représentation graphique des tensions de gaz diluant en fin de séjour hyperbare dans les tissus d'Anguille, en fonction de la période T des tissus. Les valeurs utilisées correspondent aux tensions qui donnent lieu à 50% de létalité à la décompression.

(A noter la différence des effets de l'argon et de celui des deux autres gaz).

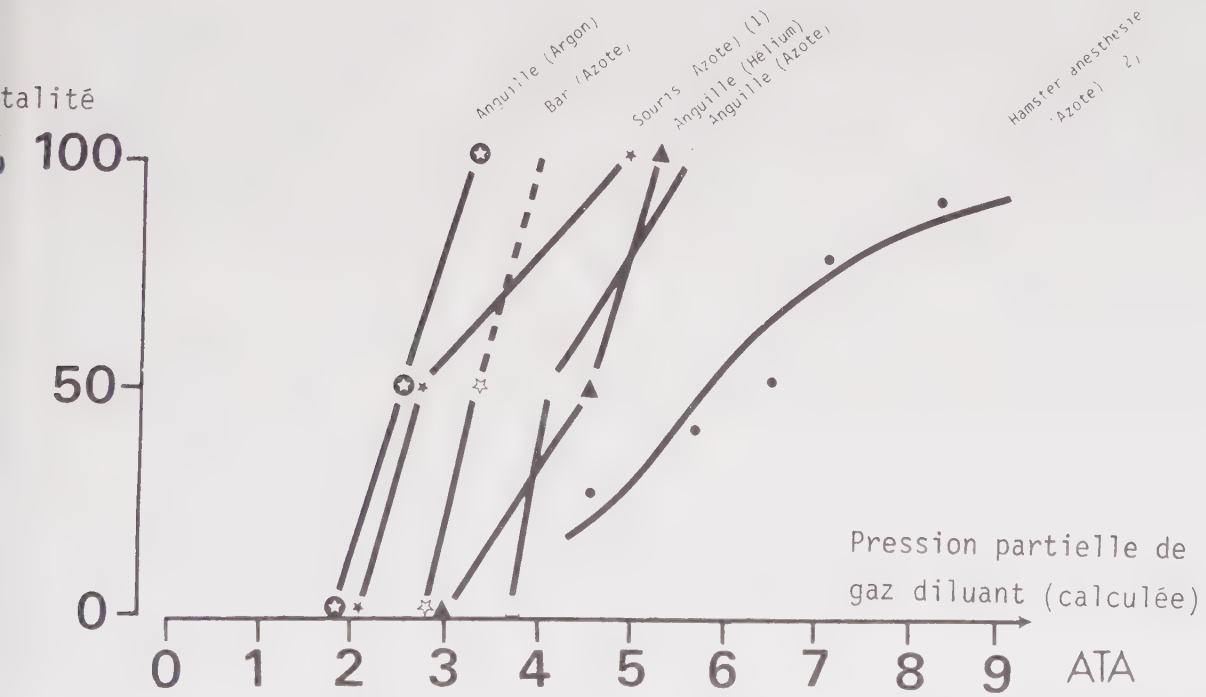


FIGURE 87 : Etude comparée des pourcentages de létalité à la décompression, en fonction de la tension de gaz diluant a la fin du séjour hyperbare dans les tissus de période 20 minutes (25 minutes pour le hamster), périodes voisines de la période limitante.

(1) : résultats de FLYNN & LAMBERTSEN (1971) ;

(2) : résultats de BUCKLES & HARDENBERG (1970).